



Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## „ISEAUTO2“ ALUSRAAMI VÄLJATÖÖTAMINE

„ISEAUTO2“ BASE FRAME DESIGN

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mari-Ly Klaats

Üliõpilaskood: 162955MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, dotsent

Tallinn 2019

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” ..... 201.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Mari-Ly Klaats, 162955MATM.....(nimi, üliõpilaskood)  
**Õppekava, peeriala:** MATM02/15 – Tootearendus ja tootmistehnika.....(kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Dotsent, Toivo Tähemaa, 5091918.....(amet, nimi, telefon)  
**Konsultandid:** Johannes Mossov, Silberauto Eesti AS, projektijuht.....(nimi, amet)  
Silberauto Eesti AS, 53337077, johannes.mossov@gmail.com.....(ettevõtte, telefon, e-post)

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) Tallinna Tehnikaülikooli innovatsiooni projekti „ISEAUTO“ alusraami välja töötlemine

(inglise keeles) Self-driving car „ISEAUTO“ base frame design

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Varasema mudeli puuduste selgitamine
2. Turuuuring ja sarnased tooted
3. Uue raami modelleerimine

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

| Nr | Ülesande kirjeldus                | Tähtaeg  |
|----|-----------------------------------|----------|
| 1. | Mudeli väljatöötlemine CAD vormis | 01.04.19 |
| 2. | Tugevusarvutuste teostamine       | 25.04.19 |
| 3. | Dokumentatsiooni kirjutamine      | 18.05.19 |

**Töö keel:** Eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** “.....” .....201....a

**Üliõpilane:** Mari-Ly Klaats ..... “.....” .....201....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Toivo Tähemaa ..... “.....” .....201....a  
/allkiri/

**Konsultant:** .....  
.....

“.....” .....201....a

/allkiri/

# Sisukord

|   |    |
|---|----|
| Jooniste loetelu .....  | 6  |
| Tabelite loetelu .....  | 7  |
| Eessõna.....  | 8  |
| 1 Sissejuhatus .....  | 10 |
| 1.1 Taust ja probleem .....   | 10 |
| 1.2 Ülesande püstitus.....  | 10 |
| 1.3 Metoodika .....   | 10 |
| 1.4 Ülevaade tööst .....  | 11 |
| 2 Silberauto Eesti AS.....  | 12 |
| 2.1 Organisatsioonist.....  | 12 |
| 2.2 Osapooled .....   | 12 |
| 3 Iseauto esimene versioon.....                                     | 13 |
| 4 Turu-uuring „viimase miili“ sõidukitest .....                     | 16 |
| 4.1 EasyMile EZ10.....  | 16 |
| 4.2 Navya Arma .....  | 16 |
| 4.3 Võrdlus Iseautoga.....  | 18 |
| 5 Alternatiivsed lahendused ja spetsifikatsioonid auto kerele ..... | 19 |
| 5.1 Autode klassifitseerimine .....                                 | 19 |
| 5.2 Üldised kere tüüp nõuded.....                                   | 19 |
| 5.3 Raami valmistamiseks erinevad profiilid.....                    | 20 |
| 5.4 Raami põhilisemad tüübid .....                                  | 22 |
| 5.4.1 Redelraam .....   | 22 |
| 5.4.2 Kandevkere ehk monoraam .....                                 | 22 |
| 5.4.3 Platvorm raam.....  | 23 |
| 5.4.4 Perimeeter raam .....   | 23 |
| 5.4.5 X-raam .....  | 24 |
| 6 Hinnangud alternatiivsetele lahendustele .....                    | 25 |
| 6.1 Redelraam .....   | 25 |
| 6.2 Monoraam.....   | 26 |
| 6.3 Platvorm raam.....  | 26 |
| 6.4 Perimeeter raam .....   | 27 |
| 6.5 X-raam .....  | 28 |

|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 6.6   | Lahenduse valik .....              | 28 |
| 7     | Uus raam .....                     | 30 |
| 7.1   | Eesmärk .....                      | 30 |
| 7.2   | Mudeli modelleerimine .....        | 30 |
| 7.3   | Tugevusarvutused .....             | 34 |
| 7.3.1 | Simulatsioonid .....               | 34 |
| 7.4   | Konstruksiooni ehitamine .....     | 36 |
| 7.4.1 | Materjali valikud .....            | 36 |
| 7.4.2 | Teostus .....                      | 37 |
| 7.4.3 | Alusraami pinnatöötlus .....       | 40 |
| 8     | Tulevikuvaated .....               | 43 |
|       | Kokkuvõtte .....                   | 44 |
|       | Summary .....                      | 45 |
|       | Kasutatud kirjanduse loetelu ..... | 46 |
|       | Lisad .....                        | 47 |
|       | Graafiline osa .....               | 49 |

## Jooniste loetelu

|  |    |
|--|----|
| Joonis 3.1 Iseauto külgvaade.....                        | 13 |
| Joonis 3.2 Mitsubishi I miev .....                       | 14 |
| Joonis 3.3 Mitsubishi alusvanker.....                    | 15 |
| Joonis 3.4 Esimesele versioonile lisatud tugevdused..... | 15 |
| Joonis 4.1 EasyMile EZ10.....                            | 16 |
| Joonis 4.2 Navya buss.....                               | 17 |
| Joonis 5.1 C-profiil .....                               | 20 |
| Joonis 5.2 Nelikanttoru profiil .....                    | 21 |
| Joonis 5.3 Ümartoruprofiil .....                         | 21 |
| Joonis 5.4 Redelraam .....                               | 22 |
| Joonis 5.5 Monoraam.....                                 | 23 |
| Joonis 5.6 Platvorm raam .....                           | 23 |
| Joonis 5.7 Perimeeter raam .....                         | 24 |
| Joonis 5.8 X-raam .....                                  | 24 |
| Joonis 7.1 Skaneering.....                               | 31 |
| Joonis 7.2 Raami optimeerimine.....                      | 32 |
| Joonis 7.3 Modelleeritud uus mudel.....                  | 32 |
| Joonis 7.4 Raami ühendus kerepaneelidega .....           | 33 |
| Joonis 7.5 Esimese amordikann .....                      | 33 |
| Joonis 7.6 Deformatsiooni simulatsioon .....             | 34 |
| Joonis 7.7 Koorumuse simulatsioon.....                   | 35 |
| Joonis 7.8 Varutegur .....                               | 35 |
| Joonis 7.9 Reaktsioonijõud.....                          | 36 |
| Joonis 7.10 Redelraami koostamine .....                  | 38 |
| Joonis 7.11 Akupaki kinnitamine.....                     | 38 |
| Joonis 7.12 Amordikannuste tugevdused .....              | 39 |
| Joonis 7.13 Esisilla kinnitus .....                      | 39 |
| Joonis 7.14 Tagasilla kinnitus .....                     | 40 |
| Joonis 7.15 Konstruktsioon enne töötlust .....           | 40 |
| Joonis 7.16 Konstruktsiooni esisild ja kinnitused .....  | 42 |
| Joonis 7.17 Konstruktsiooni tagasild ja kinnitused ..... | 42 |
| Joonis 8.1 Pilt Silwi tootmises .....                    | 43 |

## Tabelite loetelu

|   |    |
|---|----|
| Tabel 4.1 Võrdlus sõidukite vahel .....   | 18 |
| Tabel 6.1 Hinnangute tabel .....          | 25 |
| Tabel 7.1 Teraste lisandite sisaldus..... | 37 |
| Tabel 7.2 Terase tõmbetugevus.....        | 37 |
| Tabel 7.3 Korrosiivsuse kirjeldus .....   | 41 |

## Eessõna

Magistritöö teostan Tallinna Tehnikaülikooli innovatsiooni projekti Iseauto meeskonna liikmena, kus olen aktiivselt tegutsenud alates 2018 aasta sügisseimestri algusest. Töö teema vastavalt eelnimetatud projektist, mille pakkus mulle välja Silberauto Eesti AS poolne, endine Tallinna Tehnikaülikooli tudeng, Johannes Mossov. Teema osutus valituks hetkelise projekti edasiarenduse eesmärgil. Projekti tuleviku eesmärk on auto üks suurim ostukomponent asendada omatoodanguga.

Magistritöö raames soovin tänada Tallinna Tehnikaülikooli poolset projektijuhti Raivo Selli, oma juhendajat Toivo Tähemaad ja Silberauto Eesti AS poolset projektijuhti Johannes Mossovit ning teisi tiimi liikmeid, kes olid abiks lahenduse väljatöötamise magistritöö jaoks.



## Lühendite ja mõistete loetelu

**TalTech** – Tallinna Tehnikaülikool

**Silberauto** – Silberauto Eesti AS

**mm** – millimeeter

**km/h** – kilomeeter tunnis

**µm** – mikromeeter

**kWh** – kilovatt tundi

**MPa** - mega Pascalit

**„Viimase miili“ sõiduk** – Transpordi liik

# 1 Sissejuhatus

## 1.1 Taust ja probleem

Tallinna Tehnikaülikoolis on alates 2017. aasta suvest arendusel autonoomne „viimase miili“ sõiduk, mis on saanud oma nimeks Iseauto. Prototüüp valmis koostöös Silberauto Eesti AS ja TalTechiga ning selle esmaesitlus oli ülikooli 100nda juubeli raames toimunud Visioonikonverentsil, 20. september 2018. Selle tulemusel, aga projekt ei lõppenud, vaid otsustati teha edasiarendust ning luua juurde uusi sõidukeid. Olemasolev prototüüp ei olnud konstruktsiooni poolest tugev ning vastupidav ja selle tootmine oli keerukas. Silberauto poolt, kes ehitas esimese mehaanilise prototüübi, tuli nõudmine, et kui luua uusi sõidukeid, siis peab parandama ka nende konstruktsiooni. Eesmärk on, et toodetavad isejuhtivaid sõidukeid on lihtne toota ja valmistada ning on jäigema konstruktsiooniga, et tulevikus on ohutu neid reaalses liikluses kasutada.

## 1.2 Ülesande püstitus

Töö peamised eesmärgid on sõnastatud järgnevalt:

- Luua Iseauto uus konstruktsioon, mis vastab nõuetele ja on tugev ning peab võimaldama kasutada Mitsubishi IMievi esi- ja tagasilda, akupakki ja mootorit.
- Mõõtmelt peab sõiduk jääma samaks prototüübiga ehk peab olema võimalik kasutada samu kerepaneelide vorme.
- Lahendus peab olema lihtne koostada ning toota.

## 1.3 Metoodika

Esmalt tuleb selgeks teha, mis puudused esinevad pragusel prototüübi mudelil ning mida annab parendada. Selleks on töö autor uurinud ja tutvunud põhjalikult olemasoleva mudeliga ja selle tootmisega ning samuti panustab omaenda kogemusega antud teema osas.

Seejärel viidakse läbi turu-uuring, saamaks ülevaadet, missuguseid sarnaseid tooteid hetkel turul on. Kuid tegemist on uue ja innovaatilise tootega, siis konkurentse on üle maailma vähe ning nende mehaanilise konstruktsiooni poolest info puudub. Selleks teeb autor uuringu erinevate sõidukite raamide tüüpide kohta ning annab oma hinnangu, lähtudes eesmärkidest, milline meetod on sobivaim. Hindamise metoodika on töö autori poolt loodud ning on selgitatud vastava peatüki juures.

Töös pakutase välja omapoolne modelleeritud põhjendatud lahendus, milles on arvestatud ettevõtte poolset võimekust ning teostus võimalusi. Mudelile teostatakse tugevusarvutused, veendumaks, et alusvanker on piisava tugevusega ning suudab kanda inimeste ja pealmise konstruktsiooni raskust. Ära on kirjeldatud ka lahenduse valmistamise protsess ja viimistlus ning projekti tulevikuvaated.

## **1.4 Ülevaade tööst**

Töö on jaotatud 3 peamise osa vahel. Töö esimeses osas antakse ülevaade organisatsioonist ning selle osapooltest. Samuti kirjeldatakse esimeset prototüüpi ja selle üldist ehitust.

Töö teine osa keskendub tutu-uuringule, alternatiivsete lahenduste ja nende funktsionaalsuste hindamisele ning sisaldab ülevaatlikut kirjeldust iga lahenduse kohta. Hindamissüsteemi on loonud autor ise ning on ära seletatud antud osas.

Töö kolmandas osas selgitatakse lahenduse modelleerimise printsiipe ja mida on jälgitud mudeli loomisel. Teostatakse simulatsioonid vastupidavuse ja jäikuse veendumiseks ning kirjeldatakse samm-sammult lahenduse valmistamise protsessi. Lõpuks antakse hinnang loodud lahendusele ja võimalikele edasiarendustele.

## 2 Silberauto Eesti AS

### 2.1 Organisatsioonist

AS Silberauto Eesti tegevus algas aastast 1990 ning on kaubamärkide Mercedes-Benz, Jeep, Maserati ja Mitsubishi Motors, Fuso autoriseeritud müügi- ja teenindusorganisatsioon ning Chrysler Dodge sõidukite autoriseeritud teenindusorganisatsioon Eestis. Ettevõtte tütarettevõtted tegelevad autovaldkonda kuuluvate vajalike lisateenuste pakkumisega. Tänapäeval kuuluvad Silberauto kontserni alla kaks autode ümberehitusega tegelevat ettevõtet – AS Silwi Autoehitus mis alustas tegevust 1996. aastal ning 2007. aastal ühines Silberauto ettevõtete ringiga OÜ Tarfurgo. Ettevõtte omab esindusi üle Eesti erinevates suuremates linnades, nagu Tallinn, Tartu, Pärnu jne.

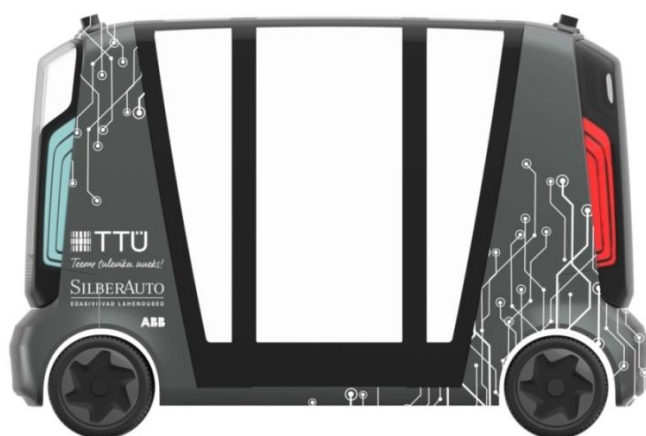
Ettevõttes tegutseb eraldi seisvana arendusosakond, kus igapäevaselt tegelevad insenerid erinevate projektide teostamisega ja arendamisega. Tegevusvaldkonnadesse kuulub eri lahendustega mööbli tootmine, väikeste- ja suure mahuliste vormide tegemine ning erilahendustega sõidukite ehitamine. Näiteks 2018. aasta kevadel valminud uudsed politseiautod on just nimelt arendatud ja toodetud selles ettevõttes, sinna nimekirja lisandub Nobe auto jms.

### 2.2 Osapooled

Projekti osapoolteks on Tallinna Tehnikaülikool ja Silberauto Eesti AS, kelle ühisel panusel on valmis ehitatud „viimase miili“ sõiduki esimene versioon – Iseauto. Autot arendatakse jätkuvalt jõuliselt edasi Tehnikaülikoolis ning tänaseks on Silberauto Eesti AS oma arendusõigused andnud üle AuVe Tech OÜ-le, mis on välja kasvanud Silberautost endast ja Iseauto projekti meeskonnast. Innovatsiooniprojektiga on plaan jätkuvalt edasiarendust teha ning ühel hetkel pakkuda ärilist väärtust – pakkudes teenust tänavatel või eramaadel.

### 3 Iseauto esimene versioon

Iseauto esmaversioon on välimuselt sümmeetriline ja kitsa konstruktsiooniga sõiduk (Joonis 3.1), mille eesmärgiks on pakkuda „viimase miili“ lahendust inimestele ja pakivedudele. Sümmeetrilisus pakub sõidu võimalust kahes suunas ning selle kitsa ehituse tõttu on kasutuskohti rohkem. Näiteks sõiduki kitsuse tõttu on võimalik seda kasutada kergliiklusteedel, kitsamatel vahetänavatel, kus suurtel sõidukitel on kitsas liigelda.



Joonis 3.1 Iseauto külgvaade

Prototüübi väljatöötamiseks katsetati esialgselt süsteemi partnerettevõtte poolt saadud elektrisõiduki Mitsubishi i-Mievi (Joonis 3.2) peal. Nimetatud sõiduk osutus valituks eelkõige, kuna tegemist on elektriautoga. Mitsubishi kuulub Silberauto Eesti müüdavate automarkide alla ning lisaks 2014. aastal soetas Eesti riik sotsiaaltöötajatele 500 seesugust vastavat sõidukit [1], mille eluiga hakkab tänaseks lõppema ning masinad amortiseeruvad. Kuigi autosid hakatakse välja vahetama, siis sõiduki elektroonika – akud, mootorid, on veel heas seisukorras ning on odav ja kasulik nimetatud projektis ära kasutada.

Projekti esimeses faasis prooviti Mitsubishi sõiduk isejuhtivaks teha kasutades iMievi enda elektroonikat ja omadusi. Silberauto panustas suurelt prototüübist auto disaini ja konstruktsiooni loomisesse. Kuna ettevõttel on kogemus ja võimekus erinevate erilahendustega sõidukite ja vormide tegemisel, siis sai just nende poolt valmistatud prototüübi mehaaniline lahendus – vormid, raamistiku täiendused, disain.

Kui isejuhtivus oli saavutatud esialgsel Mitsubishi peal, siis järgnes TalTechi ja ettevõtte töö ühildamine. Silberauto konstrueeritud prototüüpi paigutati ülikooli tudengite poolt välja arendatud lahendused, sensorika ja tarkvara. Lisati lisa juhtmestik, kontrollid, Nvidia arvuti,

implementeerti ultraheli andurid, Velodyne lidarid, kaamerad ja muud vajalikud komponendid isejuhtivuse saavutamiseks.



Joonis 3.2 Mitsubishi I miev

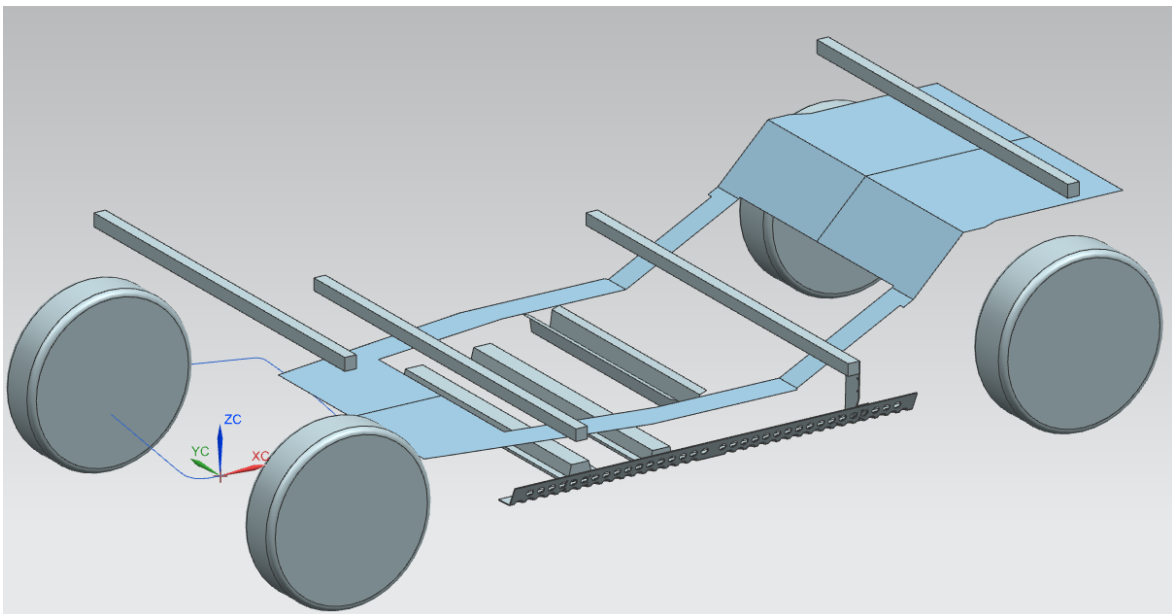
Prototüüp versioonil kasutati peamiselt siiski Mitsubishi Imievi (Joonis 3.2) kere. Nimelt eemaldati auto salong ja ülemine raamistik ning kasutati põhilisi komponente, mis kuuluvad alumise raami juurde:

- Esi- ja tagasilda
- Peaakut
- Mootor
- Juhtmestik
- Rehvid
- Alumine tugiraam



Joonis 3.3 Mitsubishi alusvanker

Prototüübist lahendusele lisati tugevdatud lisadetailid (Joonis 3.4), nagu nelikanttorust talad, mis parendavad jäikust ning millele toetub ka Iseauto pörand. Lehtmetsall, mis tagab kokkupuute väliskeskkonnaga, et raami sisse ei pääseks liigset mustust ja vett. Arvestama peab, et raamile toetub suurema konstruktsiooniga salong, see selgitab ka vajadust lisa talade järele.



Joonis 3.4 Esimesele versioonile lisatud tugevdused

## 4 Turu-uuring „viimase miili“ sõidukitest

### 4.1 EasyMile EZ10

Easymile SAS on Prantsuse ettevõtte, mis on loodud aastal 2014. Ettevõtte sihiks on arendada ja turustada isejuhtivaid sõidukeid. EasyMile sai alguse kahe ettevõtte konsolideerimisest – Ligier ja Robosoft Technology PTE. Nende esimene versioon autonoomsest sõidukist kannab nime Easymile mudel EZ10 (Joonis 4.1), mis on autonoomne elektriline buss. Mainitud buss on sõitnud 30 erinevas linnas ja 16 erinevas riigis. Senimaani on Easymile välja tulnud uue mudeli arendusega EZ10c, Tract Easy ja oma juhtimissüsteemiga EZFleet ning plaanis on edasiarendused trammidele ja suurematele bussidele. [2]

Easymile EZ10 on kahesuunaline juhita sõiduk, kus juhtimine ja peatumine teostatakse ilma inimese sekkumiseta. Sõiduk kasutab opereerimiseks Lidareid, kaameraid, GPSi, IMU ning odomeetrit, mis tagab turvalise ja kindla navigatsiooni eelkaardistatud alal.



Joonis 4.1 EasyMile EZ10

### 4.2 Navya Arma

Navya on samuti Prantsuse ettevõtte, kes tulid esimest korda turule oma autonoomse sõidukiga aastal 2014. Ettevõtte on saanud mitmeid rahastusi Euroopalt ja investoritelt kokku üle 34 miljoni euro, arendamaks oma sõidukeid. Esimene „viimase miili“ mudeliks on all pildil (Joonis 4.2) olev



Arma buss, mis on juba opereerinud mitmes erinevas paigas Prantsusmaal ja üle Euroopa. Nüüdseks pürgivad Navya tootjad siseneda Ameerika turule, sõlmides partner suhted Las Vegases ja Chicagos. Ettevõtte on pidevalt arendamas nii Armat kui ka teisi variatsioone autonoomsetest sõidukitest nagu näiteks Autonom cab. [3]

Sõiduk mahutab istuma 11 inimest ja seisma 4 ning on elektriline autonoomne sõiduk, mis suudab opereerida ligikaudu 9 tundi. Auto kere ehitamisel on tuginetud põhiliselt polüestril ning aknad on tehtud klaasist. Samuti on sõidukisse implementeeritud kaldtee ratastooliga liiklejatele. Opereerimiseks kasutab sõiduk kokku kaheksat lidarit, kaks 360 kraadist mitmekihilist ning kuus 180 kraadist tasapinnalist lidarit. Lisaks esi ja taga kaameraid, GNSSi ning odomeetrit.



Joonis 4.2 Navya buss

### 4.3 Võrdlus Iseautoga

Tabel 4.1 Võrdlus sõidukite vahel

|                           | <b>Imiev</b>     | <b>Iseauto</b>                 | <b>EasyMile</b>                | <b>Navya</b>                   |
|---------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Pikkus (mm)               | 3475             | 3500                           | 4000                           | 4750                           |
| Laius (mm)                | 1475             | 1500                           | 2000                           | 2050                           |
| Kõrgus (mm)               | 1610             | 2400                           | 2750                           | 2550                           |
| Pöörderaadius (m)         | 4.5              | 4.5                            | 5                              | 5                              |
| Maksimaalne kiirus (km/h) | 130              | Maksimaalne:45, Opereerimis:25 | Maksimaalne:45, Opereerimis:25 | Maksimaalne:45, Opereerimis:25 |
| Aku tüüp                  | Liitium-ioon aku | Liitium-ioon aku               | Lithium LiFePO4                | Lithium LiFePO4                |
| Aku (kWh)                 | 16               | 16                             | 30.72                          | 15                             |
| Mahutavus (inimest)       | 5                | 8                              | 15                             | 15                             |

Tabelist (Tabel 4.1) on näha, et EasyMile ja Navya bussid jäävad kabariitmõõtudel samasse suurusjärku, kuid Iseauto on lühem ja kitsam. Iseautole annab see suure eelise, sest selle minimalistlikuse tõttu on võimalik sõidukit ka sõitma panna kergliiklusteedele, nagu selleks on soov Ameerikas, Floridas. [4]. Negatiivseks võib pidada Iseautol võrreldes teiste tootjatega inimeste mahutavuse. Kui teised bussid mahutavad ära kuni 15 inimest istuma ja seisma, siis Iseauto mahutab ainult 8.

## 5 Alternatiivsed lahendused ja spetsifikatsioonid auto kerele

Auto kere definitsioon - konstruktsioon, mille põhiosad on mootor, raam, käigukast ja veermik. Mootor toetub raamile ja käitab jõuülekanne kaudu veermikku. Raamile toetub ka auto kabiin, kere, lastiruum ja lisaseadmed.

Raami eesmärgiks on tagada võimekus sõiduki juhtimiseks ja ohutuks pidurdamiseks ning isoleerida koos kerega sõitjad liiklusest. Kere eesmärgiks on tagada kindel siduvus teiste pea süsteemidega. Garanteerida sõitjatele meeldiv ja turvaline keskkond. [5]

### 5.1 Autode klassifitseerimine

Autode klassifitseerimiseks kasutatavad nõuded on järgmised [14]:

- Mahutavus – Raske mootorsõiduk või kergemootorsõiduk
- Toiteallikas – Bensiin, diisel, gaas või elekter
- Kasutusala – autod, bussid, mootorrattad ja veokid
- Rataste arv - 2,3,4,6
- Tootja järgi
- Sõidu (LHD, RHD) - LHD – *Left hand drive* – vasakpoolse juhtimisega või RHD – *Right hand drive* - parempoolse juhtimisega
- Käigukast - Automaat/manuaal
- Eesmärgi - Paki või inimeste vedu

### 5.2 Üldised kere tüüp nõuded

Autokere tüüpilised nõuded on järgmised [6]:

- Võimalikult kerge
- Minimaalne komponentide arv
- Piisav ruum reisijatele ja nende pagasile
- Vibratsioonikindlus
- Minimaalne õhutakistus
- Odav ja lihtne toota
- Atraktiivse värvuse, välimuse ja kujuga
- Pikaeline
- Hea nähtavus ja ventilatsioon

### 5.3 Raami valmistamiseks erinevad profiilid

Levinumaiks sõiduki raami ehitamiseks kasutatav materjali valik on süsinikteras või alumiiniumsulamid, kuna need on kergesti töödeldavad ning vastupidavad. Konstruktsiooni loomisel kasutatakse standardseid 3 tüüpi profiile – 2 korda volditud materjal ehk C- või U-kujulise ristlõikega, nelikanttoru või ümartoruprofiil.

Kõige enamlevinud profiilraami konstrueerimisel on C-profiil. Profiili on kasutatud peaaegu iga sõiduki tüübi korral. Teraslatist valtsimise teel saavutatakse D-d meenutav profiil, mis töötab piisavalt hästi paindele.

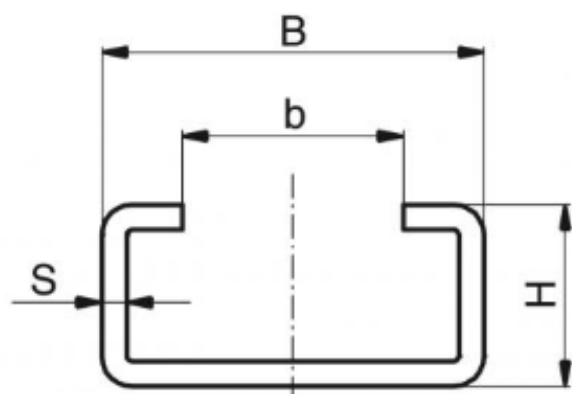
C-profiili kirjeldab (Joonis 5.1), kus tähised tähendavad:

B – profiili välimine laius (mm)

b – profiili ava laius (mm)

H – kõrgus (mm)

S – materjali paksus (mm)



Joonis 5.1 C-profiil

Varasemalt olid nelikantprofiilid keevitatud kokku kahest C-profiilist, moodustamaks nelikanttoru. Nelikanttoru raam on kõige vastupidavam väändeles ja on enimkasutatavaid profiile autotööstuses. Nelikanttoru toodetakse laias valikus erinevas standardmõõdus ning profiilis – nelikant- ja ruutprofiilid.

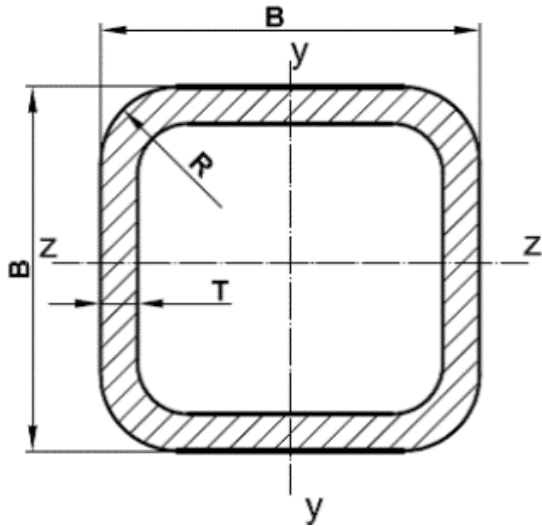
Nelikanttoru profiili kirjeldab Joonis 5.2, kus tähised tähendavad:

B – Profiili laius (mm)

R – nurga raadius kraadides

T – materjali paksus (mm)

Z ja y - Telgjooned



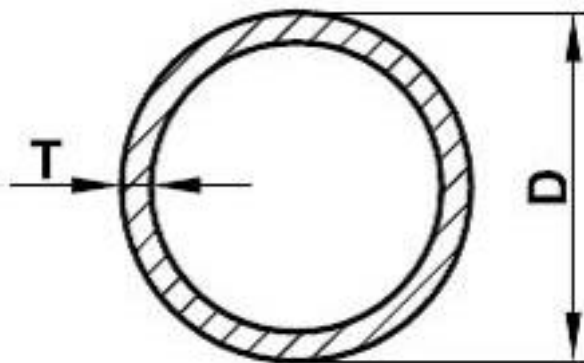
Joonis 5.2 Nelikanttoru profiil

Ümartoruprofiilist koostatud raam on kõige vastupidavam paindele ja väände. Tänapäeval kasutatakse nimetatud profiili enamasti kolmerattalistel sõidukitel, motorolleritel ja kastiga sõiduautodel.

Ümartoruprofiili kirjeldab Joonis 5.3, kus tähised tähendavad:

T – Materjali paksus (mm)

D – profiili diameeter (mm)



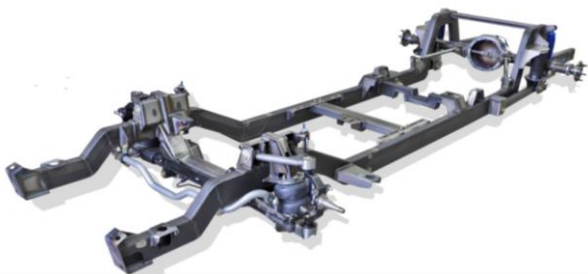
Joonis 5.3 Ümartoruprofiil

## 5.4 Raami põhilisemad tüübid

Sõiduki raam on peamine tugistruktuur. Raamile on kinnitatud kõik teised komponendid, mis on võrreldav kui inimese organismi skeletoniga. Kuni 1930-ndateni oli peaaegu igal autol konstruktsiooni põhiosaks raam, mis oli eraldi seisev kabiinist. Sellist konstruktsiooni tuntakse kui „kere raami“. Aja jooksul on peaaegu kõik sõiduautod migreerunud *unibody*-ehitusse, mis tähendab, et nende raam ja kere on üksteisega ühendatud. Peaaegu kõik veoautod, bussid ja enamused kastid kasutavad jätkuvalt eraldi raame oma konstruktsioonis. Järgnevalt on iseloomustatud viite erinevat alusvankri tüüpi, mis on kasutusel tänapäeva autotööstustes.

### 5.4.1 Redelraam

Redelraami (Joonis 5.4) nimetus tuleneb sarnasusest igale inimesele tuntud redelist ning on üks vanimaid ja lihtsamaid konstruktsioone autotööstuses. Raam koosneb kahest sümmeetrilisest talast, mis jooksevad piki sõiduki pikkust. Omakorda on nende vahele paigutatud risti rööpad, mis tekitavad just redeli mulje. Eialgu kasutati kirjeldatud raami pea kõikidel sõidukitel, praegu on see kasutusel peamiselt veoautodel. Konstruktsioon pakub head vastupidavust, kuna sellel on ristuvad rööpad kogu sõiduki ulatuses. Samuti on ka sõiduki üldine kõrgus suurem, kuna põrandapaneel asetub raami peale, mitte selle sisse. [6]



Joonis 5.4 Redelraam

### 5.4.2 Kandevkere ehk monoraam

Hetkel kasutavad sõiduautosid ehitavad tööstused peamiselt autode ehitamiseks monoraami (Joonis 5.5). Idee on selles, et kõik komponendid, põhi, raam ja välised keredetailid moodustavad ühise lehtmetaili valmistatud teaviku. Seda on oluliselt kergem ja lihtsam koostada ning seetõttu tunduvad odavam ning soodustab tootmislihtsust [7]. Lisaks on vajalik konstruktsioon ühel raamil ja kaob ära vajadus erinevate komponentide lisamiseks. [8]



Joonis 5.5 Monoraam

### 5.4.3 Platvorm raam

Platvorm raam (Joonis 5.6) on modifikatsioon perimeeter raamist, mille salongiruumi ja mõnikord ka pakiruumi põrand on integreeritud raami kandvate osade hulka, et tagada lisatugevus ja jäikus. Kumbki põrandaplaat ei ole lihtsalt lehtmetsal vaid on stantsitud servade ja õõnsustega, tagamaks lisatugevus. Raami on kasutatud mitmetel enim müüdavatel Euroopa auto mudelitel, millest üheks tuntumaks on Volkswagen Beetle.



Joonis 5.6 Platvorm raam

### 5.4.4 Perimeeter raam

Perimeeter raam (Joonis 5.7) on sarnane redelraamiga. Erinevalt redelraamist toetuvad raami keskosad eesmistele ja tagumistele rööbastele ääres. Selline konstruktsioon laseb madaldada põrandat, eriti reisijate salongis, mis omakorda lubab vähendada reisijate istekõrgust ning üldist sõiduki kõrgust. Kirjeldatud raam oli põhiliselt kasutusel Ameerika Ühendriikides kuniks kasutusele võeti monoraamid[14]. 1950ndatel võimaldas antud raam mudelimuudatusi müügi suurendamiseks, ilma kulukate struktuurimuudatusteta.



Joonis 5.7 Perimeeter raam

#### 5.4.5 X-raam

X-raami (Joonis 5.8) disaini kasutati täissuuruses American Motors mudelites 1950. aastate lõpus ja 1960-ndate aastate alguses, kus rööpad näisid ristuvat sõitjateruumis. See oli spetsiaalselt valitud sõidukite üldise kõrguse vähendamiseks olenemata ülekande- ja propellervõlli kallakute suurenemisest. Mitmetel mudelitel oli diferentsiaal mitte telje ja raami vahelisel tavalisel talal, vaid kuulliigendiga, mis on ühendatud pesa külge raamil. Väideti, et X-raam on parem kui eelnevad konstruktsioonid, nagu perimeeter ja redelraami, kuid sellel puudusid külgrihmad ja seega ei tagatud piisavat ohutust külkkokkupõrkeks. Hiljem asendati X-raam perimeeter raamiga. [7]



Joonis 5.8 X-raam



## 6 Hinnangud alternatiivsetele lahendustele

Erinevate alusvankri tüüpide vahel hinnati viie palli süsteemis konstruktsiooni massi, koostamiskeerukust, jäikust, materjali kulu ning vaba ruumi võimalust.

„5“ – vastab täielikul määral nõutud kriteeriumitele.

„4“ – vastab suuremal määral nõutud kriteeriumitele ning vajab osalisi modifikatsioone nõuete osas.

„3“ – vastab valdavalt nõutud kriteeriumitele, kuid vajab modifikatsioone, täitmaks soovitud eesmärki.

„2“ – vastab vähesel määral nõutud kriteeriumitele, vajab rohkelt modifikatsioone, täitmaks soovitud eesmärki.

„1“ - Ei vasta nõutud kriteeriumitele või on funktsionaalsus puudulik. Pole võimalik saavutada soovitud eesmärki.

Tabel 6.1 Hinnangute tabel

| Tüüp       | <u>Mass</u> | <u>Koostamise<br/>keerukus</u> | <u>Tugevus</u> | <u>Geomeetriline<br/>sobivus</u> | <u>Tootmislihtsus</u> | <b>Kokku</b> |
|------------|-------------|--------------------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|
| Redel raam | 4           | 5                              | 3              | 5                                | 5                     | <b>22</b>    |
| Monoraam   | 2           | 4                              | 5              | 1                                | 3                     | <b>15</b>    |
| Platvorm   | 3           | 3                              | 5              | 2                                | 3                     | <b>16</b>    |
| Perimeeter | 5           | 5                              | 2              | 3                                | 5                     | <b>20</b>    |
| X-raam     | 5           | 3                              | 2              | 1                                | 2                     | <b>13</b>    |

### 6.1 Redelraam

**Mass (4)** – kasutusel ei ole liiga paksud detailid ning erinevate komponentide arv on väike, mille tulemusel on mass mõistliku raskusega.

**Koostamise keerukus (5)** – piisab valdavalt ühest rakisest kogu konstruktsiooni kokku paigutamisel. Rakis annab askohad vahe rööbastele ja külgmiste detailide nurkadele.

**Tugevus (3)** – raamile on lisatud vahetalade olemasolu, mis muudab konstruktsiooni tugevamaks ja jäigemaks väändele, kuid pole piisavalt jäik võrreldes monoraamiga.

**Tootmist (5)** – lihtsustab standardsete materjalide ja profiilide kasutamine, lisaks on materjali kulu suhteliselt minimaalne.

**Geomeetrist (5)** – mahtu arvestades on nõue, et Iseautosse on tarvis alusvankris ruumi tehnika paigutamiseks, siis redelraamil annab ruumi optimeerida, ilma et kaoks jäikus ja tugevus erinevates punktides. [9]

**Plussid:**

- Suurem kandevõime ja tugevus

**Miinused:**

- Kere kipub kergesti vibreerima ja sõidukite üldine käsitlemine ja täiustamine on madalam.
- Kehv vastupidavus väände.

## 6.2 Monoraam

**Mass (2)** – monoraami konstruktsioon koosneb ühtsest raamist, kus on ühendatud alusvanker ja ülemine konstruktsioon, mistõttu on ka nimetatud raamil mass oluliselt suurem.

**Koostamine (4)** – monoraami puhul on koostamine lihtne kuna raam on terviklik ning sinna külge kinnitub vähe komponente.

**Tugevus (5)** – monoraam on tugeva konstruktsiooniga, sest terviklik raam lisab jäikust ning väändekindlust tervele kerele.

**Geomeetiline sobivus (1)** – ruumi kasutus on hea, arvestades, et raam koosneb ühest tükist ning lisakomponendid kinnituvad raamile – mis hõlbustab ja lihtsustab koostamist.

**Tootmine (4)** – monoraami puhul on koostamine suhteliselt keerukas väikeseeria korral, vajalik oleks vormide olemasolu. Seeria tootmise korral tootmine lihtsustatud ja efektiivne.

**Plussid:**

- Ruumi efektiivsus, odav mass tootmiseks.

**Miinused:**

- Raami on raske parandada ning muuta,
- kompleksne disain
- võimatu väikeseeria tootmise jaoks.
- Konstruktsiooni pole piisavalt universaalne

## 6.3 Platvorm raam

**Mass (3)** – olemuselt sarnane perimeeterraamiga, kuid lehtmetailiga täidetud raami keskosa lisab oluliselt raskust.

**Koostamine (3)** – alusvankrit on keerukam valmistada kuna nõuab erinevaid materjali töötusi ja lisaks lehtmetaili töötlemist. Viimane muudab koostamise keerukamaks.

**Tugevus (5)** – täidetud keskosa lisab tugevust ja jäikust väändelevale ning üldiselt on konstruktsioon vastupidavam tänu ühendatud põhjale.

**Geomeetriline sobivus (2)** – arvestades ka, et antud toote puhul on nõutud, et oleks võimalus paigutada varasemas mudelis kasutusel olevaid komponente, nagu aku ja mootor, siis antud konstruktsiooni puhul on keerukas lisada sama akupakki. Viimane tõstaks antud olukorras oluliselt sõiduki põhja kõrgust, sest aku tuleks asetada platvormi peale. Seega võib öelda, et antud lahendus ei sobi arendatava sõiduki alusraamiks.

**Tootmine (3)** – nii suure- kui ka väikeseeria tootmise korral on antud lahendus keerukas ja tootmise teeb aeganõudvamaks erinevate materjalide ja profiilide lisatöötlemine.

**Plussid:**

- Tugevus väändelevale.

**Miinused:**

- Keerukas sobitada teist tüüpi akulahendustele.

## 6.4 Perimeeter raam

**Mass (5)** – perimeeter konstruktsioon sai hindamismatriksis suhteliselt palju punkte. Raami mass on üks kergemaid ning materjali kulu suhteliselt väike.

**Koostamine (5)** – raam koosneb standardsetest ja lihtsatest profiilidest ning vähestest detailidest, mis muudab koostamise lihtsaks.

**Tugevus (2)** – siiski, kuna puuduvad keskmised talad vähendab see oluliselt raami tugevust ning väände kindlust, mis teeb antud raami ebasobilikus, sest raam peab olema piisavalt jäik, kandmaks peamist konstruktsiooni ja inimesi ning teisi auto komponente.

**Geomeetriline sobivus (3)** – raamil on palju ruumi lisa detailide paigutamiseks ning ruumi kasutust on võimalik optimeerida vastavalt vajadusele.

**Tootmine (5)** – raami lihtsus, standardsete detailide kasutamine ja komponentide vähesus muudavad tootmise oluliselt lihtsaks.

**Plussid:**

- Madalamate istekohtade korral parem ohutus külgekukupõrkel

**Miinused:**

- Puudub jäikus
- keskmiste talade puudumisel väheneb väändekindlus

## 6.5 X-raam

**Mass (5)** – massi poolest sarnaneb X-raam perimeeter- ja redelraamiga, ta on suhteliselt kerge ning ei sisalda raskeid detaile

**Koostamine (3)** – antud lahenduse valmistamine on keerukas, arvestades, et enamus profiilid on töödeldud ja painutatud erineva nurga alla.

**Tugevus (2)** – antud konstruktsioon on väga nõrk ka väände, kuna sel puudub pidepunkt kogu auto ulatuses ning see pole piisavalt jäik nõutava mudeli jaoks.

**Geomeetriline sobivus (1)** – geomeetrisest aspektist pole võimalik antud lahenduse puhul kasutada Mitsubishi IMievi akupakki, kui siis ainult paigutades see raami peale, mille korral pole siiski piisavalt pidepinda ja muudaks sõiduki põranda kõrgemaks, mis poleks sobilik.

**Koostamine (2)** – lisaks seeriatootmises oleks antud lahendus aeganõudev ja poleks sobilik masstootmisele.

**Miinused:**

- Puudub jäikus ning väändekindlus

## 6.6 Lahenduse valik

Raami projekteerimisel lähtuti nõudest, mis nägi ette teatud komponente nagu (akupakk ja mootor) paigutada sarnastesse punktidesse eelneva versiooni I Mievi mudeliga. Mitsupishi puhul oli siiski tegemist monoraamiga, mis antud projekti raames ei sobi, kuna sõidukil on oma salong.

Valituks osutus üks enimkasutatud raamitüüpe – redelraam. Valitud konstruktsioon annab geomeetriselt palju lisaruumi lisavarustuse paigutamiseks, nagu arvutid, paneelid ja lisa akud ning sõiduk on sobilik ka oma tugevuse omaduste tõttu, piisavalt jäik ning vastupidav väände. Lahendust on ka lihtne koostada profiilide lihtsuse ja komponentide vähesuse tõttu, mille puhul on see sobilik ka seeriatootmisesse.

Raami konstrueerimisel välistati ümartoruprofiil. Kuna valikuks osutus redelraam, siis ümarprofiilist on keerukas luua raamiosade ühendusi. Arvestades, et raamile kinnituvad ka lisakomponendid nagu uksemootor ja peamootori kinnitus, siis ümarpind pole hea lahendus oma kuju ja kontaktpinna puudumise tõttu ning see raskendab ka oluliselt koostamist. Lisaks on üheks nõudeks, et profiilile peab olema võimekus kinnitada juhkestikku ja amordikannused, seega toru pind pole selleks sobilik lahendus.

Seetõttu otsustati nelikant toruraami kasuks, kuna selline profiil on jäik ja vastupidav nii paindele kui väände. Nelikant toruprofiil hõlbustab ka oluliselt raami koostamist. Nelikanttõru profiil on kergesti kättesaadav, seda on lihtsam erinevate nurkade all kokku keevitada ja ühendada teiste detailidega. Lisaks on antud lahenduse valiku puhul arvestatud seda, mis oleks kasulik tulevikus seeriatootmise puhul. Antud valik küll muudab alusvankri raskemaks, kuid see ei ole nii drastiliselt erinev C-profiiliraamist. C-profiili on keerukam kasutada koostamisel ning muudab keeruliseks pidepunktide loomise teiste profiilidega.

## 7 Uus raam

### 7.1 Eesmärk

Uue alusraami konstrueerimise eesmärgiks on eelkõige tootmise lihtsustamine, oma toodangu ja ühtne konstruktsiooni loomine. Sooviti asendada varasemalt kasutatud Mitsubishi Imievi põhi uue tugevama alusvankriga, mida oleks lihtsam koostada, mis oleks on vastupidav ning mille geomeetiline mahutavus oleks võimalikult optimeeritud.

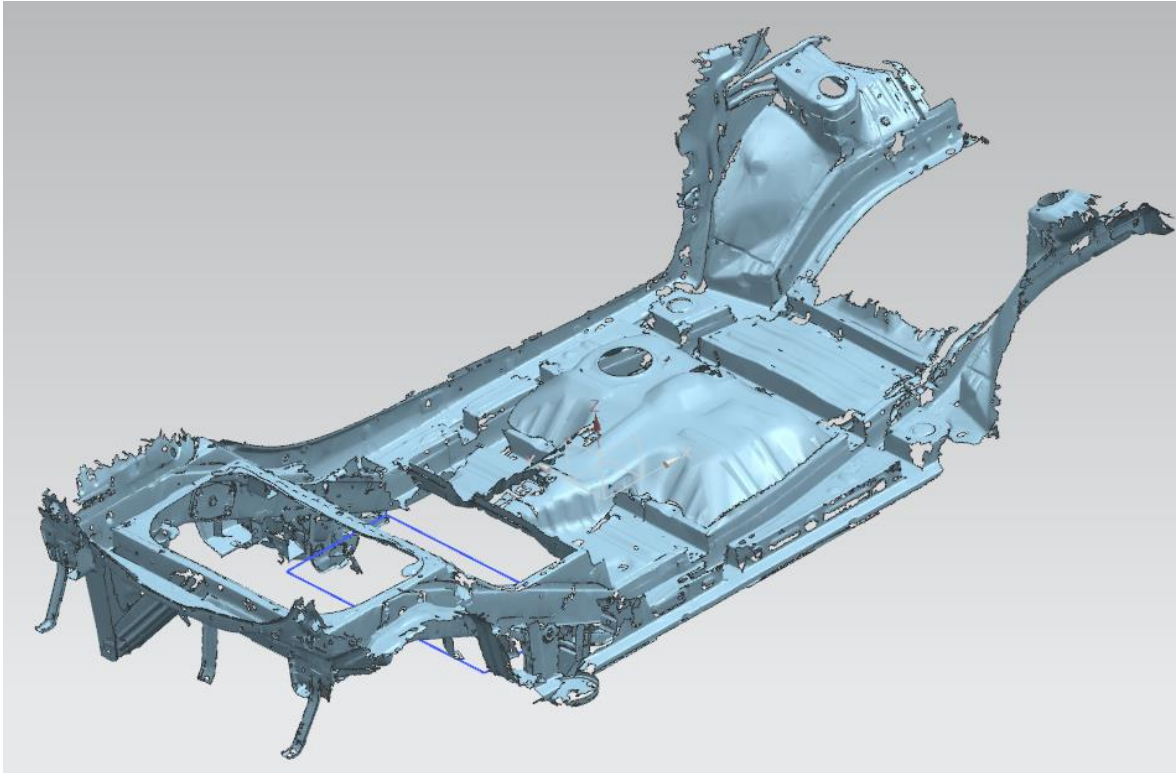
Arvesse tuli võtta esimese prototüübi puuduseid, milleks oli eelkõige koostamis keerukus, kõrge hind ning sobimatus suurema seeria tootmiseks. Lisaks polnud eelneval mudeli ühendust ülemise raamiga ning selle lisamine oleks olnud keerukas kui mitte võimatu. Alusvankri esiosa kitsenes esisilla kinnituspunktide juures, mistõttu vähendas see ka ruumilist mahutavust arvutite ja muu elektroonika jaoks.

Modelleerimisel järgiti järgnevaid nõudeid:

- Ruumiline mahutavus
- Tehniline teostus
- Vastupidavus väändele, kõrge jäikus
- Ühendatavus ülemise salongi konstruktsiooniga
- Võimalik paigaldada Mitsubishi Imievi akukasti, mootorit, esi- ja tagasilda
- Komplekteerimise lihtsus
- Lihtne toota

### 7.2 Mudeli modelleerimine

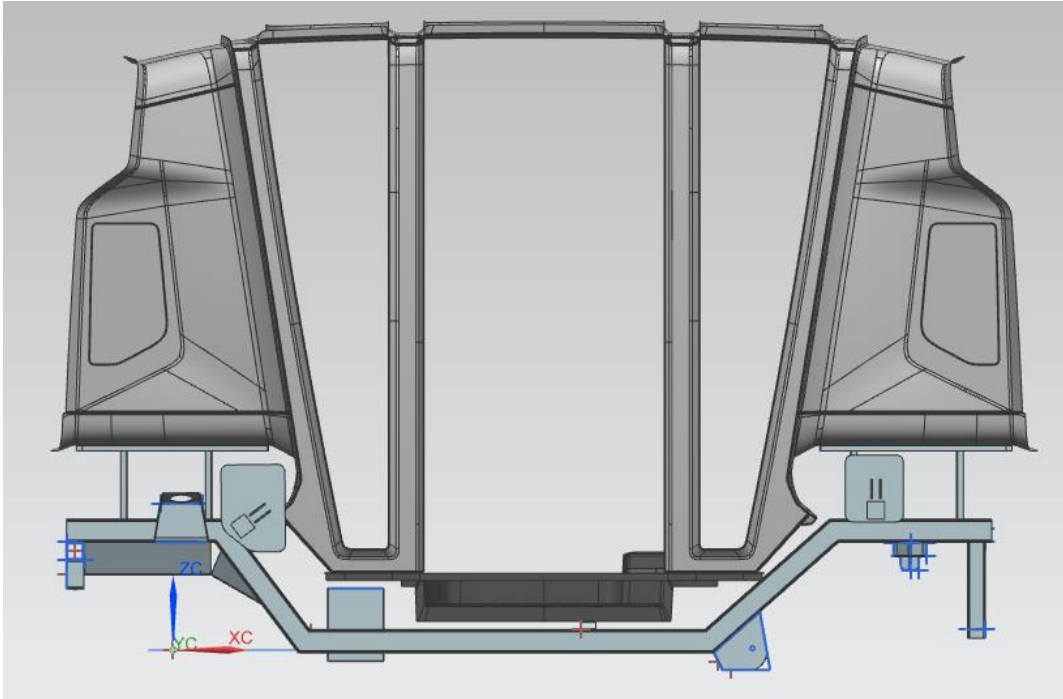
Mudeli modelleerimisel lähtusin eelnimetatud nõuetest. Samuti, et pidepunktid ja kinnituskohad jääksid ligikaudselt samadesse punktidesse. Lähtusin ka esi- ja tagasilla kinnituskohadest, et auto gabariidiliselt ei suureneks ja telgede vahe jääks samaks. Kuna varasemast mudelist korrektset 3D versioon puudub, siis selleks, et saaks peamised kinnituskohad kätte tuli eelnev mudel sisse skanneerida (Joonis 7.1). Skaneerimiseks kasutati teenust ettevõttelt Amper Engineering, kes teostas 3D skaneerimise. 3D skaneeringust saab olemasolevatest objektidest täpse 3D punktipilve, mis on ka õiges mõõtkavas ning sellelt on võimalik võtta mõõte, luua uus CAD mudel või kasutada seda olemasoleva mudeli inspeksiooniks. [10].



Joonis 7.1 Skaneering

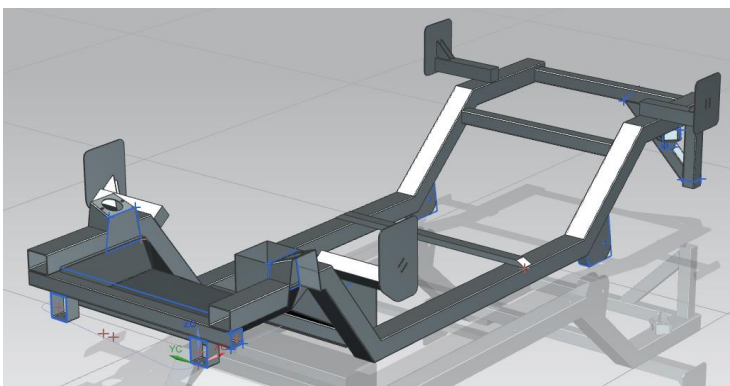
Pärast skaneeringu mudeli valmimist sai alustada, sellest lähtuvalt, uue mudeli loomisega. Külgmisteks keeviskoostudeks kasutati nelikanttoru 100x80x3 ning vankri laius jäeti samaks, kuna küljevormid koostatakse samadest vormidest, siis pidi jälgima, et salongi mõõdud peavad jääma samaks ning vanker peab olema koostatud sellest lähtuvalt. Alusvankri pikkus jäi samaks eelneva prototüübiga ning peamine erinevus on, et kui eelneval mudelil on esiosa alates esisilla kinnitusest kitsam siis uuel mudelil on terve alusraami ulatuses sirge.

Järgnevalt optimeeriti küljeraami profiili, lisamaks võimalikult palju geomeetrilist mahutavust ning tootmise lihtust. Eelneval mudelil olid esimese ja tagumise raami kinnituspinnad erinevatel kõrgustel, kuid nüüd kõrgendati ka esiosa samale kõrgusele (Joonis 7.2). Sellega seondult, (nagu ülemiselt pildilt (Joonis 7.1 näha) on esimesed amordikinnituse pinnad kumerad ja puudub täpne profiil, siis uuel mudelil on selgem konstruktsioon ning muutub lisab geomeetrilist mahutavust esiosasse.



Joonis 7.2 Raami optimeerimine

Järgnevalt määrati akukasti, mootori ja sildade kinnituskohad, millest sõltuvalt paigutati vahetalad, eesmärgiga luua redelraam ja anda konstruktsioonile jäikust. Eelnevalt paigutati sildade välimised kinnitused paika ning seejärel sisemised, kuna telgede vahe pidi jääma samaks eelneva prototüübiga ning sisemised talad on kergemini liigutatavad. Vahetaladena kasutati 60x60x3 toruprofiile, mis on standrad profiilid ja piisava tugevausega alusraami külgede sidumiseks ning kinnituspunktideks muudele konstruktsioonidele (Joonis 7.3).

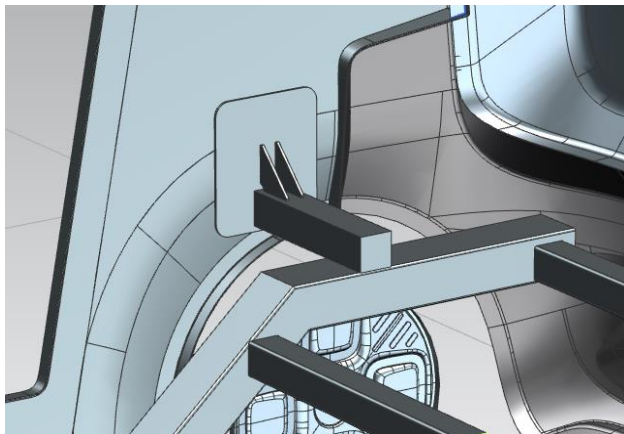


Joonis 7.3 Modelleeritud uus mudel

Ülejäänud koostuga ühendamiseks kasutati poltühendust, millele kogu ülemine raam toetus. Nimelt on raami keskosas külgmistele profiilidele lisatud mõlemale poole kaks kronsteini, millele kinnitub ülemine raamistik keskelt poltidega. Kuna kere plastid on liimitud ühekomponentse

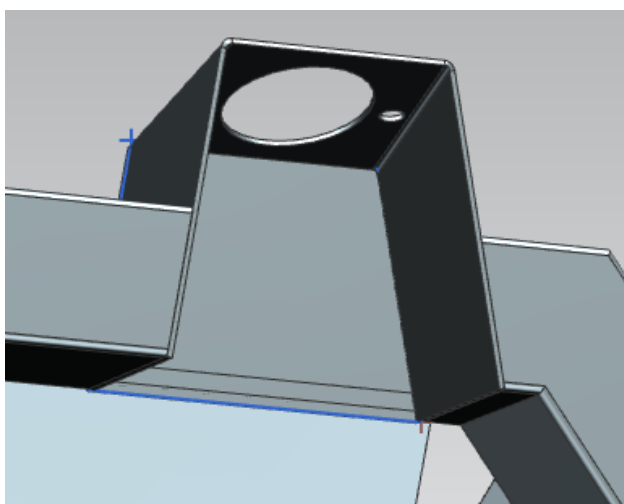


polüuretaanliimiga ülemise konstruktsiooni külge, siis tagamaks kindlamat jäikust toestati ka külgi. Alusraamile küljeprofiili külge keevitati nelikant toru, mille otstesse lehtmetailist koostatud plaadid ning kasutades liimi, liimiti omavahel kerepaneelid ja plaadid (Joonis 7.4).



Joonis 7.4 Raami ühendus kerepaneelidega

Konstruktsiooni põhiraskust kandvate amordite vedrude jaoks tuli luua uus lahendus erinevalt eelmisele mudelile. Kuna raami esiosa on kõrgendatud ning eelnevad amordikannused olid integreeritud põhja pleki sisse, (Joonis 7.1) siis uue mudeli puhul projekteeriti amordikannused küljeprofiilist väljaulatuvateks (Joonis 7.5). Kasutati painutatud avadega lehtmetaili, mis keevitati konstruktsioon raami külge. Piisava jäikuse tagamiseks lisati ka sisenurkadesse tugevdavad 25x25x2 torud. Tagusmised vedrukannud koostati kolmest erinevast lehtmetailist, üks, mis keevitati raami alumise seina külge ning selle peale keevitati omavahel aasadesse ristuvad kaks plaati ning amort kinnitub treititud detaili külge.



Joonis 7.5 Esimese amordikann

## 7.3 Tugevusarvutused

Kogu koostu kaal = 1250 kg

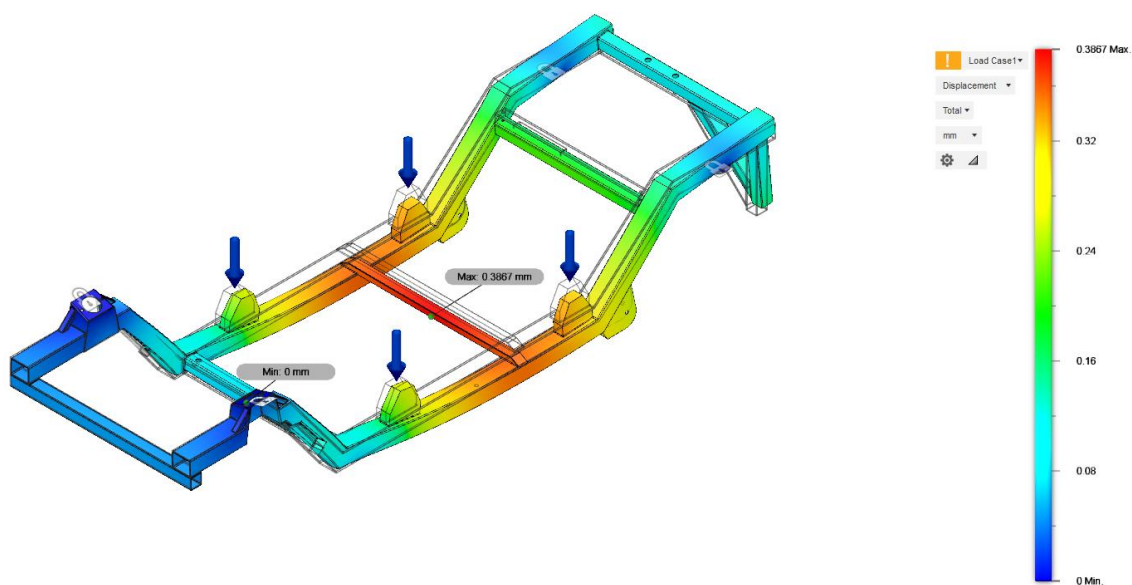
Reisijate kaal = Ligikaudne keskmine reisija kaal x inimeste arv = 75 kg x 8 = 600 kg

Raamile mõjuv jõud = koostu kaal + reisijate kaal = 1250 kg + 600 kg = 2050 kg

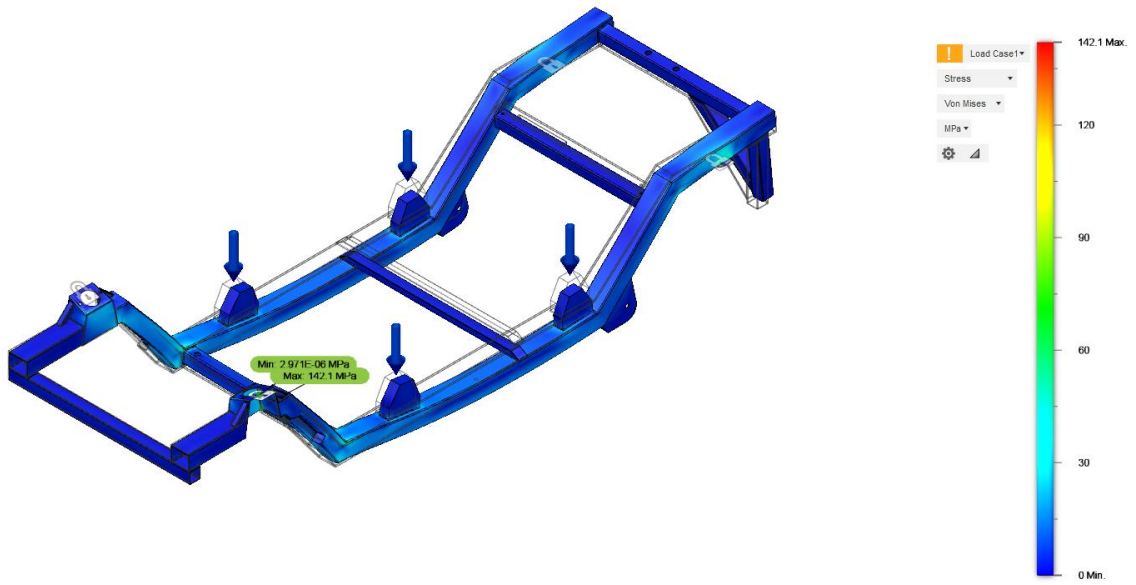
(millest ca 900 kg on alumise raami kaal koos akudega, mootorite ja sensorikaga, millest võib arvutada, et ülemise konstruktsiooni mass on ligikaudu 1250 kg – 900 kg = 350 kg

### 7.3.1 Simulatsioonid

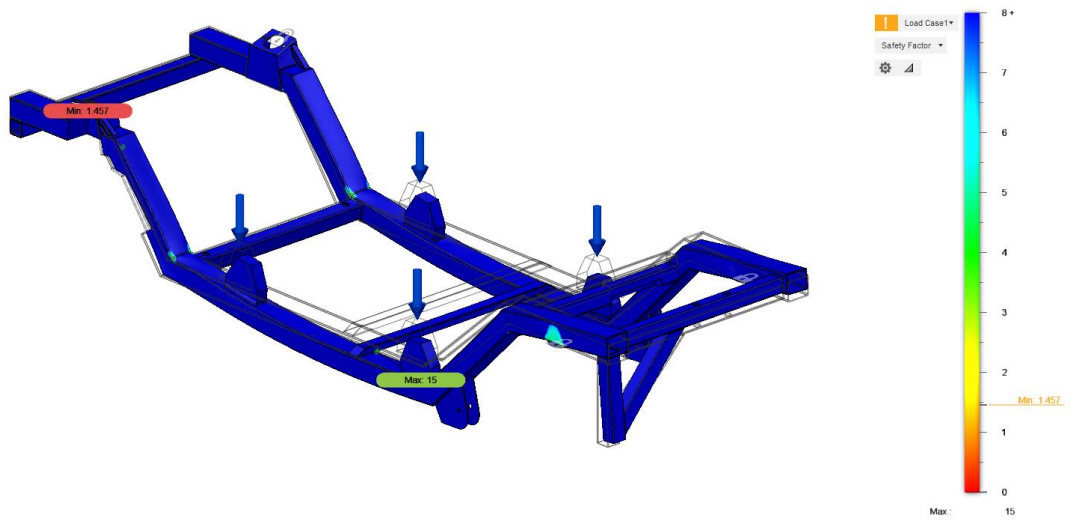
Järgneva simulatsioonid on arvetatud staatiliste jõudude puhul, kuna realsuses sõidab Iseauto madalatel kiirustel ning tugevaid dünaamilisi jõudusid ei teki. Staatiliste jõudude puhul arvestati, et kogu konstruktsioon toetub põhiliselt amordikannude kontaktpindadele ning raamile mõjuva raskusena arvestati ülemise konstruktsiooni massi ning 8 inimese kaalu – ligikaudu 1000 kg.



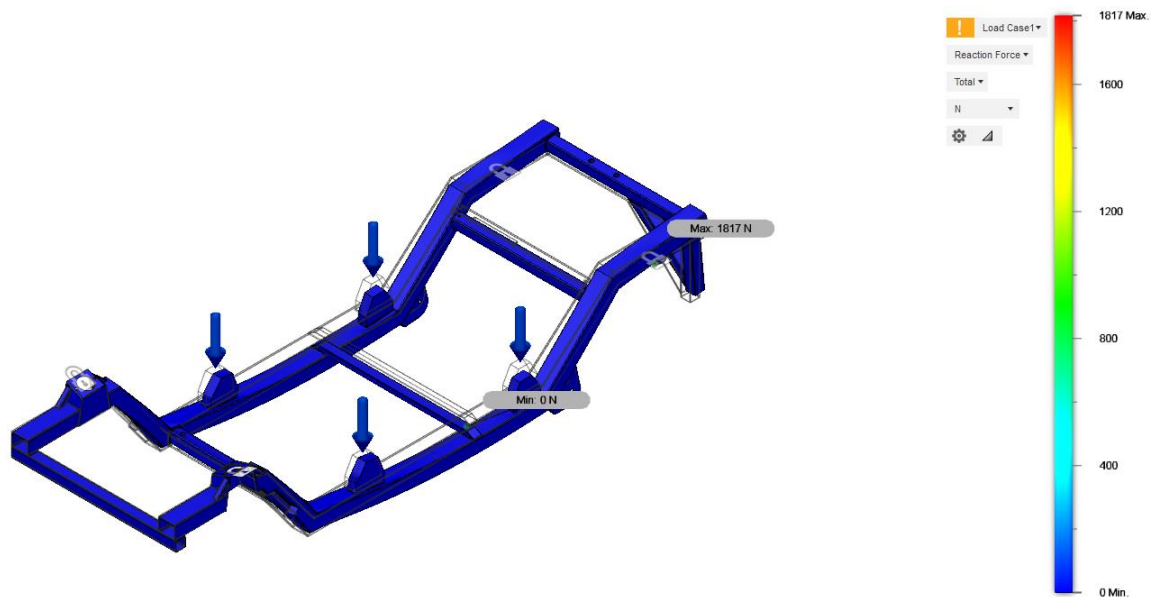
Joonis 7.6 Deformatsiooni simulatsioon



Joonis 7.7 Koorumuse simulatsioon



Joonis 7.8 Varutegur



Joonis 7.9 Reaktsioonijõud

Simulatsioonidest (Joonis 7.6, Joonis 7.7, Joonis 7.8, Joonis 7.9) saab järeldada, et konstruktsiooni raam peab edukalt vastu mõjuvale koormustele, milleks on antud simulatsioonis määratud koondjõud on 1000 kg. Kõige nõrgemaks kohtadeks on amortide toetuspinnad, kuhu kogu raami koormus langeb. Maksimaalne deformatsioon on 0.3867 mm, suurim koormus 142.1 Mpa, minimaalne varutegur 1.457 ning reaktsiooni jõud maksimaalselt 1817 N. Antud tulemustest järeldub, et konstruktsioon on vastupidav koormusele ning sõltuvalt vajadusest on võimalik ka praegused tulemused parendada, lisades tugevdused amordi kinnituskohtadesse.

## 7.4 Konstruktsiooni ehitamine

### 7.4.1 Materjali valikud

Konstruktsiooni loomisel kasutatakse konstruktsiooni terast, kuna antud materjalist profiilid on kättesaadavad, odavad, vastupidavad ning töödeldavad. Konstruktsiooni teras sisaldab süsinikku ja teisi raua elemente nagu räni, fosfor, väävel (Tabel 7.1), mis parendavad metalli kõvadust, elastsust ja tõmbetugevust. Enam levinud profiilide valmistamiseks kasutatavad terased on S235, S275 ja S355. [11]

Tabel 7.1 Teraste lisandite sisaldus

| Materjali klass | Süsinik C% | Mangaan Mn% | Fosfor P% | Väävel S% | Räni Si% |
|-----------------|------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| <b>S235</b>     | 0.22       | 1.60        | 0.05      | 0.05      | 0.05     |
| <b>S275</b>     | 0.25       | 1.60        | 0.04      | 0.05      | 0.05     |
| <b>S355</b>     | 0.23       | 1.60        | 0.05      | 0.05      | 0.05     |

Mainitud terased on laialdaselt kasutatavad autotööstustes ja sõidukite valmistamises, sest need on kergesti töödeldavad ja heade omadustega.

Tabel 7.2 Terase tõmbetugevus

| Materjali Klass | Tõmbetugevus MPa |
|-----------------|------------------|
| <b>S235</b>     | 360 - 510        |
| <b>S275</b>     | 370 – 530        |
| <b>S355</b>     | 470 – 630        |

Antud konstruktsiooni loomisel kasutatakse S355 konstruktsiooni terast, kuna raamile ei mõju oluliselt suuri jõude ning alusraami korrosiooni kaitseks teostatakse hilisemalt värvimine.

#### 7.4.2 Teostus

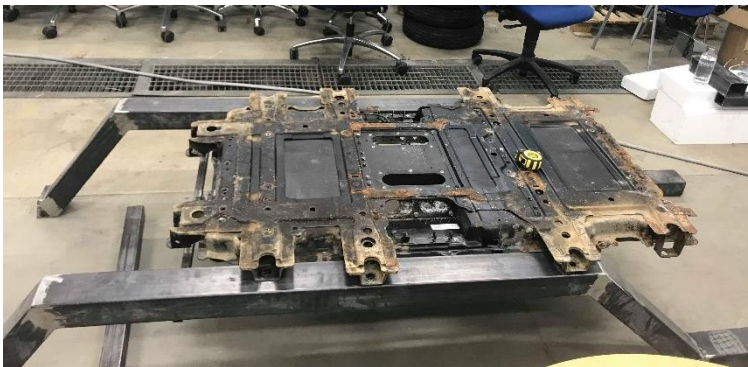
Tegemist on prototüüp lahendusega, seega koostamisel katsetati erinevaid koostamis meetodeid leidmaks sobivamat. Kasutati erinevaid rakiste versioone ning edaspidiseks koostamiseks tehti kõige sobivamad neist.

Alustati redelraami küljeprofiilidest, lõigates 100x80x4 nelikant torud jooniste järgi sobivasse pikkusesse ning nende otsad õigete nurkade alla. Seejärel keevitati 30 mm vineeriplaadi rakise abil profiilid kokku õigete nurkade ja kauguste järgi. Kahe külje vaheline kaugus oli määratud joonistel, see distants fikseeriti kahe väiksema toruga, mis punktiti raami külge, hoidmaks küljed fikseeritud kohtadel.



Joonis 7.10 Redelraami koostamine

Järgmisena määrati akupaki kinnitused küljeraamidele, mis olid joonisele määratud, kuid kontrolliti asetades akupaki kinnitus raam konstruktsioonile ning markeerides avad. Kuna raam kinnitub alusele altpoolt pidi leidma sobiva kinnituse meetodi. Antud prototüübi puhul otsustati keevismutrite kasuks, milleks tuli teisele poole laseriga teha avad, et oleks võimalik keevismutrit profiili sisse keevitada, mis hiljem tagasi kinni keevitati (Joonis 7.11).



Joonis 7.11 Akupaki kinnitamine

Esimesteks amordikannusteks kasutati painutatud lehtmetaili, millele oli eelnevalt laseriga tehtud avad. Antud painutatud detail keevitati kahe nelikant külje profiili vahele ning sisemiselt poolt kaeti 3mm paksuse metall lehega. Jäikuse lisamiseks keevitati sisenukadesse tugevdavad 25x25 torud (Joonis 7.12).



Joonis 7.12 Amordikannuste tugevdused

Samamoodi toestati ka tagasilla sisemised kinnitused, mis oli koostatud kolmest lehtmetailist moodustatud karbist. Karbi mõlemale välisküljele lisati jäikuse andmiseks tugevdus torud. Esisilla välimine kontakt raamiga asetub alusraami otsa paigutatud nelikanttorul, kuna antud kinnituspunkt on eelneva mudeliga viidud kõrgemale, siis distantsi tagamiseks lisati kaks karpi (Joonis 7.13). Antud karbid tehti olemasolevast nelikantprofiilist 100x80x4, mis keevitati 60x60x3 toru külge ja lisati jäikust külgedelt 25x25x3 torudega.



Joonis 7.13 Esisilla kinnitus



Joonis 7.14 Tagasilla kinnitus

Aku ja sildade kinnitumised 60x60x3 torule toestati puksidega. Puksid on profiili läbivad ning seest keermeatud M16 avadega. Läbivad puksid annavad jäikust ja võimaldavad kasutada pikki läbivaid polte, mis tagab lihtsama ligipääsetavuse kinnitustele.

Kui alusraami kõik põhikomponendid olid konstrueeritud, siis korrosioonikindluse tagamiseks teostati pinnatöötlus ettevõttes Siidiussi OÜ (Joonis 7.15).



Joonis 7.15 Konstruktsioon enne töötlust

### 7.4.3 Alusraami pinnatöötlus

Liivapritsitööd ehk liivapritsimine on pinnatöötlus liivapritsiga. Tehakse tavaliselt vanemate pindade puhastamisel enne renoveerimist ja eeltööna tööstuslike pindade värvimisel. Antud konstruktsiooni puhul oli tegemist musta metalliga mida oli tarvis eeltöödelda enne pulbervärvimist. Pritsimise tagajärjel muutub pind karedaks, mis aitab värvil paremini pinnaga haakuda. Raami puhastamiseks kasutati kuivliivaprits meetodit, mille käigus puhastatakse pinnas abrasiiv ja suruõhuga ning pinnalt eemaldatakse rooste ja vana värv.

Värvimise ja kuumtsinkimisega puhul on pinna katmisel oluline teada, millistes ilmastiku- või keskkonnatingimustes projekteeritud terastoodet asub. Alljärgnev selgitus näitab, kuidas määrata



toote korrosioonikaitse nõuded ja annab hinnangu pinnakatte vastupidavuse kohta. Antud konstruktsiooni puhul võib eeldada, et valdavaks väliskeskkonnaks on C2 kategooria (Tabel 7.3) – kuiv/maa/linna, sisemaa – juhuslik kondensatsioon.

Tabel 7.3 Korrosiivsuse kirjeldus

| ISO 14713 – korrosiooni kategooria | Tüüpiline väliskeskkond                           | Tsingi keskmine korrosiooniaste $\mu\text{m/aasta}$ | ISO 14713 – korrosiivsuse kirjeldus |
|------------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| C1                                 | Üksikud mägiipiirkonnad, kuiv sisemaa             | $\leq 0.1$  | Väga madal                          |
| C2                                 | Kuiv/maa/linna, sisemaa – juhuslik kondensatsioon | 0.1 – 0.7   | Madal                               |
| C3                                 | Rannikuäärsed kohad, kõrge niiskusega sisemaa     | 0.7 – 2   | Keskmine                            |
| C4                                 | Mereäärne (tuulevaikne), ujumisbasseinid          | 2 – 4   | Kõrge                               |
| C5                                 | Mereäärne (murdlainetus)/maatuul                  | 4 - 8   | Väga kõrge                          |

Pulbervärvimine on värvimismeetod, kus värvid on pulbrilises olekus ja lahustivabad. Värv kinnitatakse pinnale pärast värvimist asetades detail 200 kraadisesse kuumutusahju. Pinna kvaliteedi määrab pinna eeltötlus liivapritsiiga. Pulbervärvimise eelisteks võrreldes muude kaitsmis- või töötlusvõimalustega on variatsioon erinevate värvide seas. Katte ülesanneteks on kaitsta metalli korrosiooni eest ning muuta toote värvi, läiget ja struktuuri. Lisaks on see keskkonnasõbralik, taaskasutatav ja sobib kasutamiseks erinevates keskkondades. [12]

Võimalik on ka pinnatötlusena teostada tsinkimist. Kuumtsinkida on võimalik kõiki tavalisi süsinik- ja valuteraseid. Metalliga pinda tsinkimisel kantakse sellele tsingi kiht, mis on aeglase korrosiooniga ja mis kaitseb samuti pinda korrodeerumise eest. Kuumtsinkimisel kastetakse toode metallvanni, kus on sulatada tsink ja mis on kuumutatud 460 kraadini. Õhu kätte sattudes reageerib tsink õhus leiva hapnikuga, tekitades nC, mis reageerib õhus oleva süsihappegaasiga ning tekib halli värvi  $\text{XnCO}_3$ , mis on tugev materjal ja takistab mitmetel tingimustel korrosiooni. Eestis pakub tsinkimist, meile sobiva suurusega vannis ettevõtte nimega Galv-Est, kes pakub toote või koostu tsinkimist mis on maksimaalselt soovituslikult suuruses 1500 mm (laius) x 2700 mm (kõrgus) x 13500 mm (pikkus) ja maksimaalne kaal 12 tonni. [12]

Antud projekti raames valiti pulbervärvimine, sest antud töötlemisviis on kättesaadavam ja oluliselt odavam. Lisaks, kuna tegemist on prototüübiga, siis peab säilima võimalus hiljem raami veel töödelda või keevitada. Tsinkimis järgselt pole võimalik raami hilisemalt töödelda, sest tsinkimine on kallis protsess ning selle kihi eemaldamine on keerukam kui pulbervärvil.



Joonis 7.16 Konstruktsiooni esisild ja kinnitused



Joonis 7.17 Konstruktsiooni tagasild ja kinnitused

## 8 Tulevikuvaated

Töös kirjeldatud alusvankri valmistamine on prototüüp meetodil, testiti ja hilisemalt lisati veel komponente juurde. Tulevikus hakkab kogu raami toodang toimuma raksite abil ja lõplikul kujul ehk hetke seisuga toodab järgnevaid raame täies mahus Maardus partner ettevõttes, Silwi Autoehituse AS (Joonis 8.1), kus koostatakse raame väike seeria tootmise kujul, 3 – 4 raami korraga. Silwi Autoehitus AS on suure mahuline tootmine, kus on varasemalt ka toodetud politseibusse ja muid erilahendustega sõidukeid.

Kaugemas tulevikus on võimalik väljatöötatud raamistikku kasutada erinevate mudeli variatsioonide puhul, senikaua kui nõutavad gabariidid on samad. Tulevikus tuleb kindlasti teostatud raamistikul ette modifikatsioone, parendusi ja muudatusi, mis ajapikku esineda võivad. Selleks on võimalik raamistikku edasi arendada ja sensorika muutumise korral testida teisi autoraamide meetodeid.



Joonis 8.1 Pilt Silwi tootmises

## Kokkuvõtte

Antud töö peamiseks eesmärgiks on luua sõiduki konstruktsioon, mis oleks jäik, etteantud mõõtudes ning ühilduks etteantud komponentidega. Samuti peab antud lahendus olema lihtne koostada ning soodustama tootmist.

Töö käigus on selgitatud kuidas antud eesmärgid saavutada. Esmalt on uuritud ja hinnatud olemasolevat parendatavat prototüüpi ning ettevõtte tootmise võimalusi. Sellest lähtuvalt on analüüsitud erinevaid alternatiivseid lahendusi ja nende sobivuse vastavust eesmärkidele. Seejärel on hindamise järgselt valitud lahenduse meetod modelleeritud 3D keskkonnas, kasutades Siemens NX 12 tarkvara. Vaadeldud on mudeli sobivust ning vastupanu sõltuvalt simulatsiooni tulemustest. Viimaseks on kirjeldatud loodud mudeli valmistamisprotsess ettevõttes ning mudeli viimistlus protsessid.

Töö tulemusena on valminud nõuetele vastav redelraami tüüpi konstruktsioon, mis on kasutusel uue sõiduki loomisel. Samuti on töö tulemusena alustatud alusvanrki tootmist partner ettevõttes Silwi autoehituses, kus on valmimas hetkel 3 raamistikku järgnevate sõidukite ehitamiseks.

## Summary

The aim for this thesis is to create vehicle construction that is rigid, in right dimensions and compatible with the given components. Furthermore the solution needs to be easy to compose and should contribute manufacturing.

In this documentation it is explained how to reach the goal. First of all it has been valued and researched existing prototype and the capacity of the company. According to this, different alternative solutions and their suitability have been analysed. After evaluation the chosen solution was modelled in 3D environment, using Siemens NX 12 software. Also the models resistance and strength is calculated using simulations. For the last, the thesis gives a step-by-step overview of creating the physical model and how it has been processed.

For conclusion, the real model has been build using the ladder frame construction and it is in use for the new vehicle. Also, for the result of this thesis, production of these frames has begun in Silwi Autoehituse AS, which is the partner company. Currently there are 3 frames in the making that will be used in construction of new vehicles.

## Kasutatud kirjanduse loetelu

- [1] Tarmo Paju, "Riik ostab sotsiaaltöötajatele 500 elektriautot," 2011.
- [2] EasyMile. [Online]. <https://easymile.com/>
- [3] Navya. [Online]. <https://navya.tech/en/>
- [4] CFDC, "Florida Poly partners to research test self-driving vehicles," <https://www.cfdc.org/florida-poly-partners-to-research-test-self-driving-vehicles/>, 2019.
- [5] R.K. Rajput, *Automobile Engineering*.
- [6] PEC University Chandigarh, "Automobile chassis and classification ," 2016.
- [7] Paul Niedermeyer, *Automotive History: An X-Ray Look At GM's X-Frame (1957 – 1970)*., 2015.
- [8] Kalyan Srikar Majeti, "Automobile chassis," 2015.
- [9] Jagamohan Jena, Abhishek Chakraborty, and Vandana Jain, "Structural Analysis of Ladder Type Suv Chassis Frame," 2018.
- [10] Egeineering Amper. 3D skanneerimine. [Online]. <http://www.3dscan.ee/3d-skaneerimine/>
- [11] Nick Gilbert, "Structural Steel - S235, S275, S355 Chemical Composition, Mechanical Properties and Common Applications," 2012.
- [12] Tiit Tiidemann, "Metallide korrosioon ja korrosioonitõrje. Pinnakatted,".
- [13] Leon S. Sterling, *The Art of Agent-Oriented Modeling*. London: The MIT Press, 2009.

# Lisad

LISA 1 Simulatsiooni tulemused 1

## ☐ **Study 1 - Static Stress**

### ☐ **Study Properties**

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Study Type             | Static Stress        |
| Last Modification Date | 2019-05-22, 08:56:26 |

### ☐ **Settings**

#### ☐ **General**

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Contact Tolerance       | 0.1 mm |
| Remove Rigid Body Modes | No     |

#### ☐ **Mesh**

|  |           |
|--|-----------|
| Average Element Size (% of model size)   |           |
| Solids                                   | 10        |
| Scale Mesh Size Per Part                 | No        |
| Average Element Size (absolute value)    | -         |
| Element Order                            | Parabolic |
| Create Curved Mesh Elements              | Yes       |
| Max. Turn Angle on Curves (Deg.)         | 60        |
| Max. Adjacent Mesh Size Ratio            | 1.5       |
| Max. Aspect Ratio                        | 10        |
| Minimum Element Size (% of average size) | 20        |

#### ☐ **Adaptive Mesh Refinement**

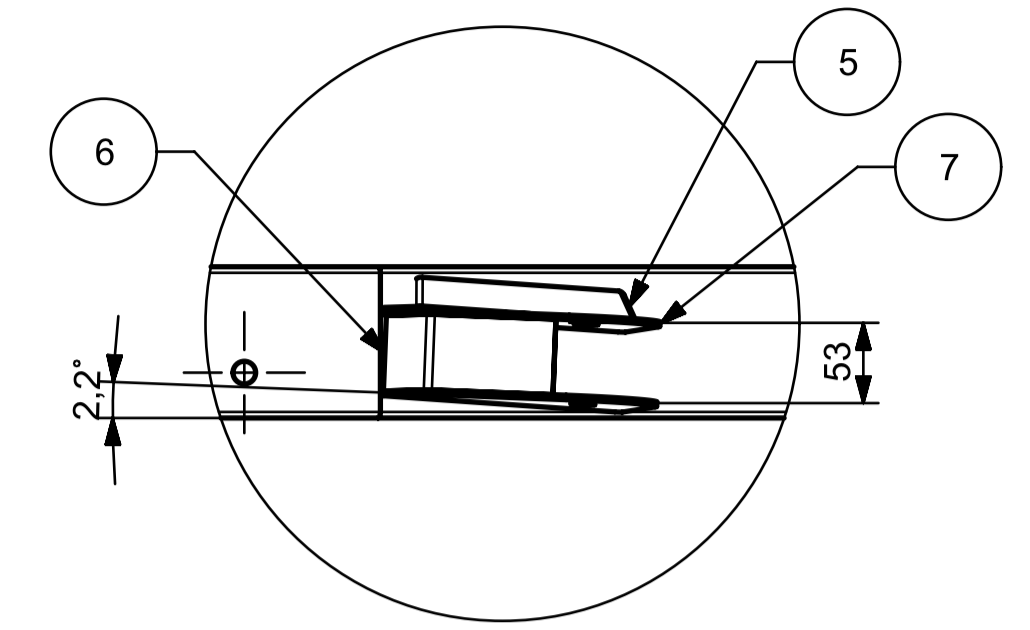
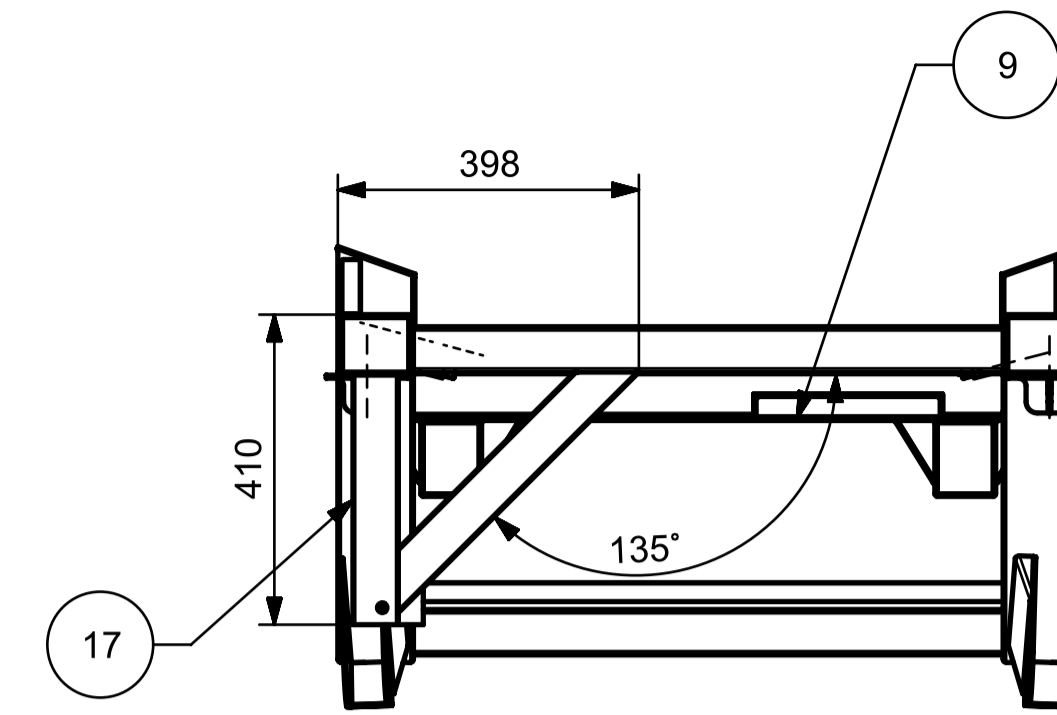
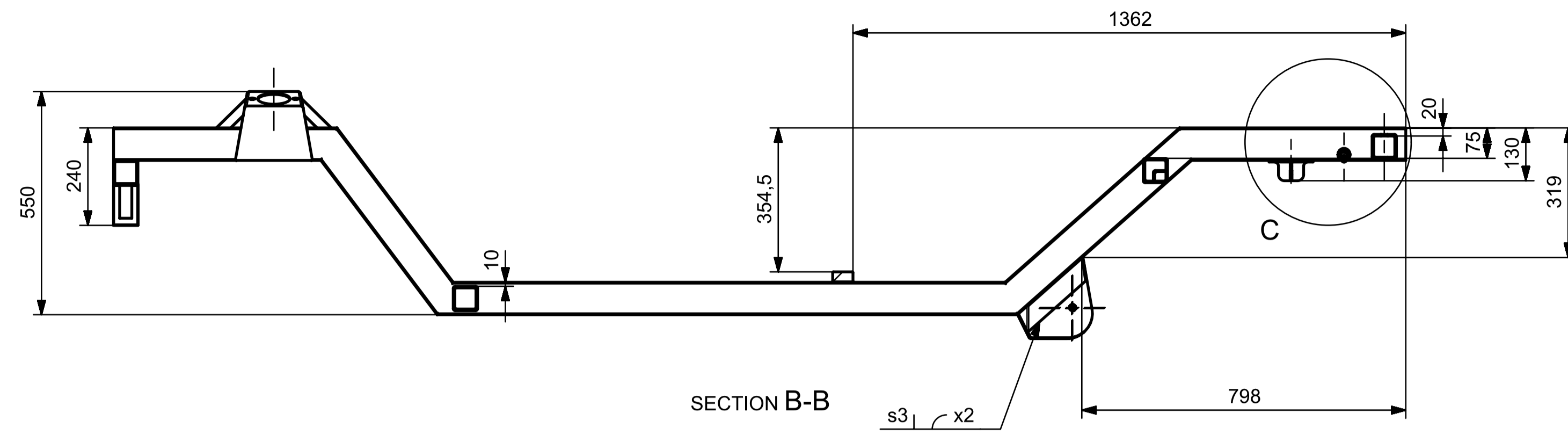
|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| Number of Refinement Steps        | 0                |
| Results Convergence Tolerance (%) | 20               |
| Portion of Elements to Refine (%) | 10               |
| Results for Baseline Accuracy     | Von Mises Stress |

### ☐ Result Summary

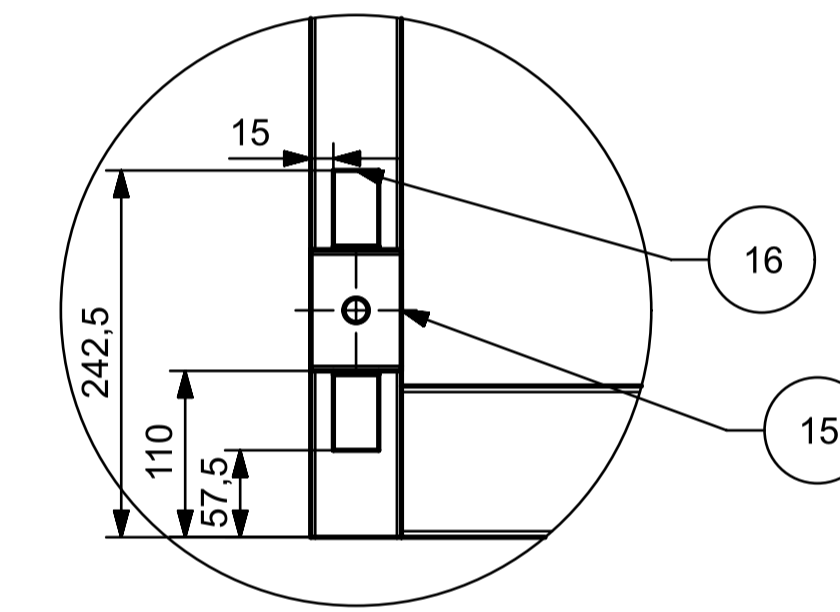
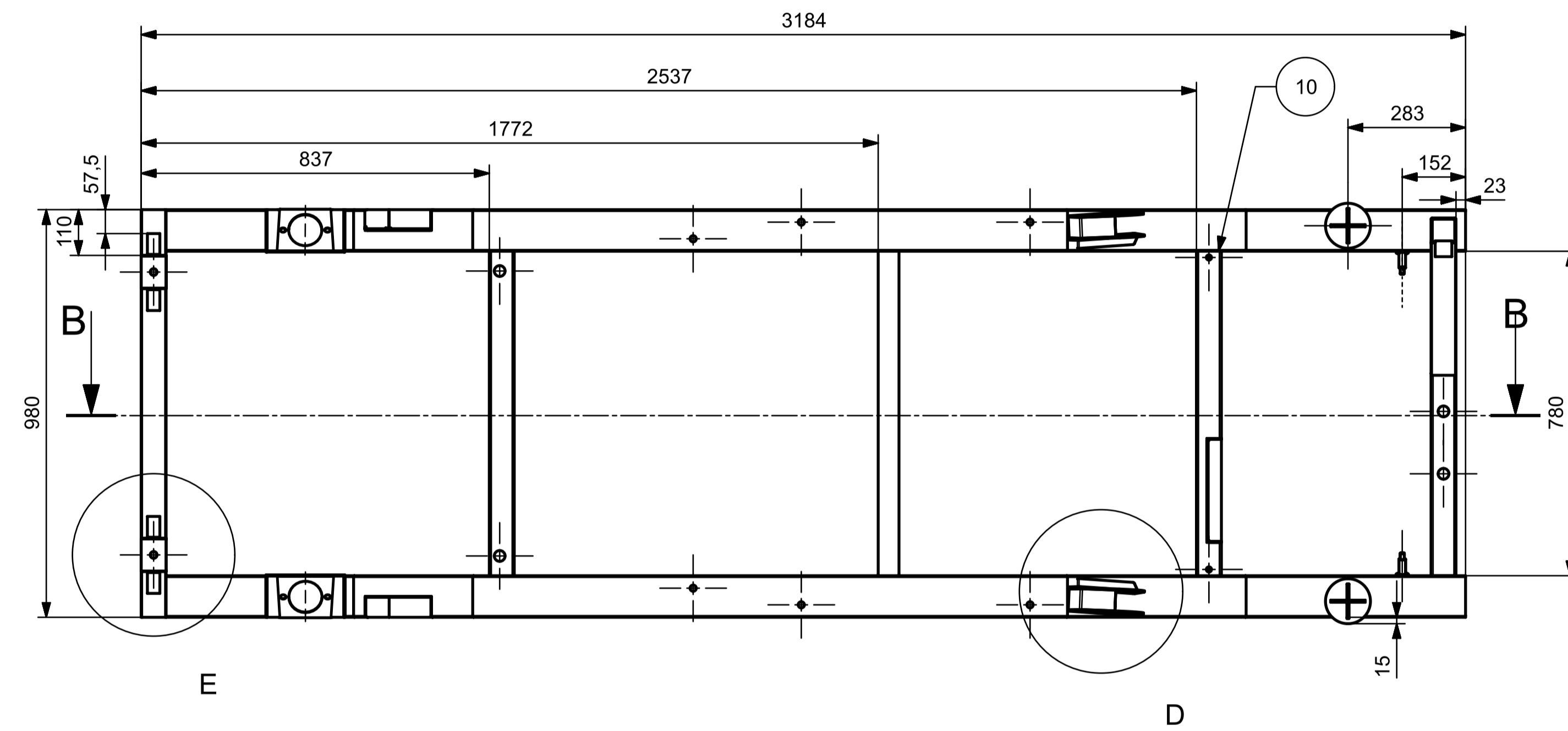
| Name                     | Minimum       | Maximum    |
|--------------------------|---------------|------------|
| Safety Factor            |               |            |
| Safety Factor (Per Body) | 1.457         | 15         |
| Stress                   |               |            |
| Von Mises                | 2.971E-06 MPa | 142.1 MPa  |
| 1st Principal            | -44.67 MPa    | 179.3 MPa  |
| 3rd Principal            | -171 MPa      | 40.68 MPa  |
| Normal XX                | -77.29 MPa    | 155.3 MPa  |
| Normal YY                | -85.07 MPa    | 66.73 MPa  |
| Normal ZZ                | -147.2 MPa    | 127.2 MPa  |
| Shear XY                 | -55.77 MPa    | 29.4 MPa   |
| Shear YZ                 | -45.05 MPa    | 52.82 MPa  |
| Shear ZX                 | -45.58 MPa    | 51.7 MPa   |
| Displacement             |               |            |
| Total                    | 0 mm          | 0.3867 mm  |
| X                        | -0.04485 mm   | 0.1892 mm  |
| Y                        | -0.02254 mm   | 0.03726 mm |
| Z                        | -0.3747 mm    | 0.127 mm   |
| Reaction Force           |               |            |
| Total                    | 0 N           | 1817 N     |
| X                        | -310.9 N      | 541.3 N    |
| Y                        | -855.2 N      | 522.9 N    |
| Z                        | -1590 N       | 1815 N     |
| Strain                   |               |            |
| Equivalent               | 2.441E-11     | 9.653E-04  |
| 1st Principal            | -2.269E-07    | 0.00103    |
| 3rd Principal            | -0.001076     | 4.863E-07  |
| Normal XX                | -2.466E-04    | 5.925E-04  |
| Normal YY                | -1.858E-04    | 2.124E-04  |
| Normal ZZ                | -6.175E-04    | 5.389E-04  |
| Shear XY                 | -6.904E-04    | 3.64E-04   |
| Shear YZ                 | -5.578E-04    | 6.539E-04  |
| Shear ZX                 | -5.643E-04    | 6.401E-04  |



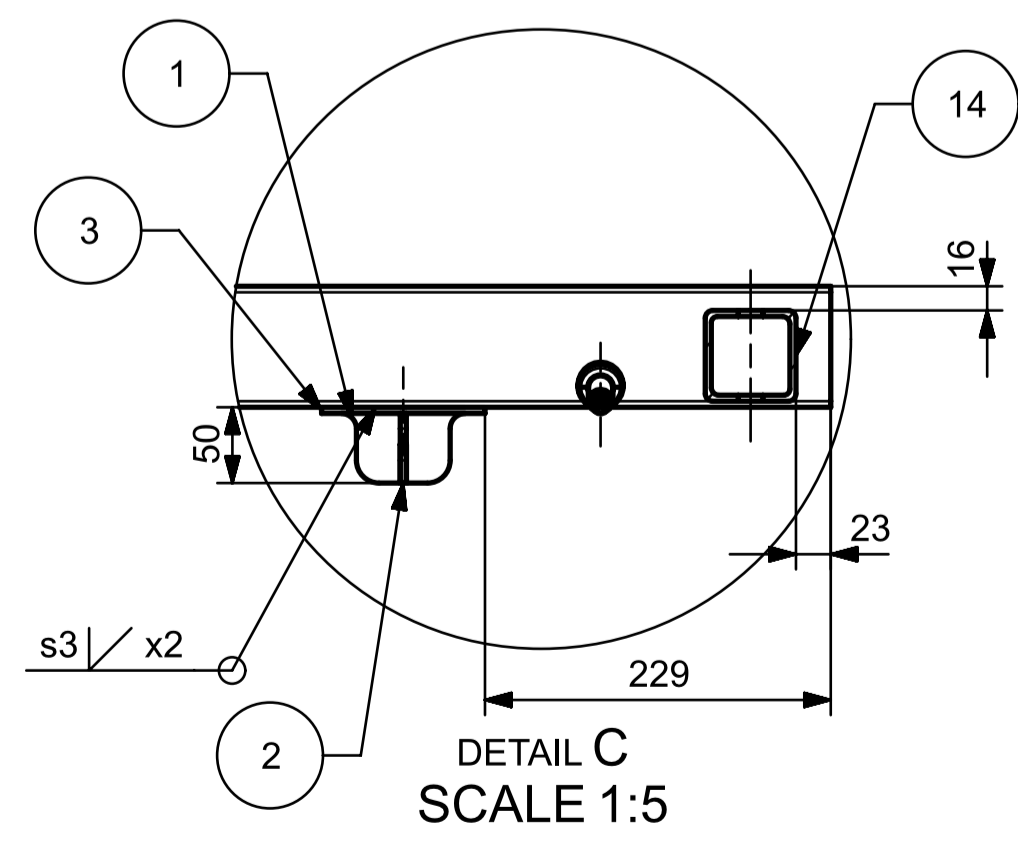
## Graafiline osa



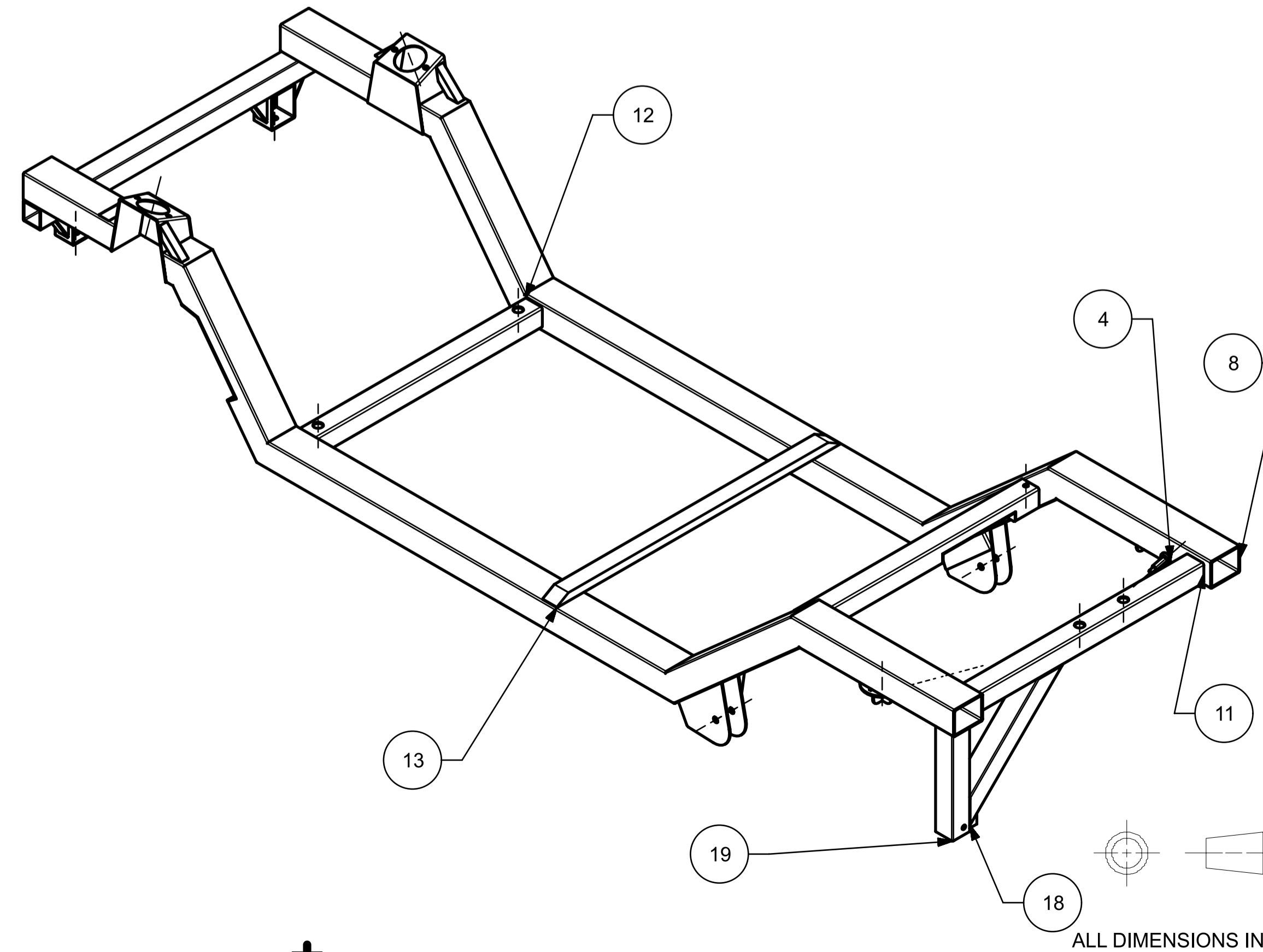
DETAIL D  
SCALE 1:5



DETAIL E  
SCALE 1:5



DETAIL C  
SCALE 1:5



Märkimata keevisõmblused :

| PC NO | PART NAME                  | QTY |
|-------|----------------------------|-----|
| 19    | TAGASILLARISTILATIKINNITUS | 1   |
| 18    | TORU 60X60X3               | 1   |
| 17    | TORU60X60-300              | 1   |
| 16    | ESIRAAMIKINNITUSKARBID     | 1   |
| 15    | KARP                       | 2   |
| 14    | RAAMIRISTITALAD            | 1   |
| 13    | RIST_KESK_TUG_TALA         | 1   |
| 12    | TORU 60X60 2               | 1   |
| 11    | TORU 60X60 4               | 1   |
| 10    | TORU 60X60 3               | 1   |
| 9     | TORU60X60-980              | 1   |
| 8     | RAAMIKÜLJETALAD            | 1   |
| 7     | TAGASILLAKINNITUS          | 1   |
| 6     | KARBISEIN                  | 1   |
| 5     | TAGASILLA_TUG              | 1   |
| 4     | AMORDIKINNITUS             | 1   |
| 3     | TAGAVEDRUKANNUD            | 1   |
| 2     | KÜLG1                      | 2   |
| 1     | KÜLG2                      | 2   |

**SIEMENS**

THIS DRAWING HAS BEEN PRODUCED USING AN EXAMPLE  
TEMPLATE PROVIDED BY SIEMENS PLM SOFTWARE

| FIRST ISSUED         | TITLE                 |
|----------------------|-----------------------|
| DRAWN BY<br>M.Klaats |                       |
| CHECKED BY           |                       |
| APPROVED BY          |                       |
| SIZE<br>A1           | DRG NO.<br>Raamikoost |
| SCALE<br>1:1         | SHEET REV<br>A        |
|                      | SHEET 12 OF 13        |

ALL DIMENSIONS IN MM